



**SKRIPSI – TK141581**

**PERANCANGAN PROSES DISTILASI  
ATMOSFERIK DAN PENGHILANGAN *GAS OIL*  
DALAM PENGOLAHAN MINYAK PELUMAS  
BEKAS**

**Oleh:**

**Rizki Kurnia Mahardika**

**NRP 2313 100 054**

**Achmad Zulfikar Fawzi**

**NRP 2313 100 055**

**Dosen Pembimbing 1**

**Prof. Ir. Renanto, M.Sc., Ph.D.**

**NIP. 1953 07 19 1978 03 1001**

**Dosen Pembimbing 2**

**Juwari S.T., M.Eng., Ph.D.**

**NIP. 1973 06 15 1999 03 1003**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**



**FINAL PROJECT – TK141581**

**ATMOSPHERIC DISTILLATION AND GAS  
OIL REMOVAL PROCESS DESIGN FOR RE-  
REFINING USED LUBE OIL**

**By:**

**Rizki Kurnia Mahardika**

**NRP 2313 100 054**

**Achmad Zulfikar Fawzi**

**NRP 2313 100 055**

**Advisor 1**

**Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D.**

**NIP. 1953 07 19 1978 03 1001**

**Advisor 2**

**Juwari ST., M.Eng, Ph.D**

**NIP. 1973 06 15 1999 03 1003**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

# **PERANCANGAN PROSES DISTILASI ATMOSFERIK DAN PENGHILANGAN GAS OIL DALAM PENGOLAHAN MINYAK PELUMAS BEKAS**

Nama/NRP : Rizki Kurnia Mahardika 2313100054  
Achmad Zulfikar Fawzi 2313100055  
Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Renanto, M.S, Ph.D.  
2. Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Pada proses pemurnian minyak pelumas bekas, perlu dilakukan proses penghilangan kandungan air, *light ends* (*iso-butane, n-butane, n-pentane*), dan *gas oil* dari campuran minyak pelumas bekas. Kandungan tersebut merupakan *impurities* yang dihasilkan setelah penggunaan minyak pelumas pada mesin. Pada pemisahan ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu penghilangan air dan *light ends* dari campuran minyak pelumas bekas serta pemisahan *gas oil* dari campuran minyak pelumas bekas. Penghilangan air dan *light ends* dilakukan pada unit distilasi atmosferik, hal ini dikarenakan rentang titik didih kandungan air dan *light ends* berkisar antara -1 hingga 100 °C sehingga bisa dioperasikan pada kondisi operasi yang tidak terlampau tinggi yaitu suhu 100-160°C dan tekanan atmosferik di kolom distilasi *single-stage*. Sedangkan pemisahan *gas oil* dilakukan pada kolom distilasi pada kondisi *vacuum* yakni unit penghilangan gas oil, hal ini dikarenakan komponen *gas oil* memiliki rentang titik didih 68-281 °C sehingga kondisi operasi yang cukup tinggi perlu dilakukan pada kolom distilasi vakum supaya suhu operasi bisa lebih rendah.

Pemisahan dengan distilasi atmosferik yang dimodelkan dengan *pre-flash drum*, dimana variabel yang diatur pada simulasi adalah suhu aliran yang masuk. Pemisahan dengan *gas oil removal* yang dimodelkan dengan kolom distilasi vakum, dimana variabel yang diatur pada simulasi adalah suhu, tekanan, dan *reflux ratio* dari kolom distilasi. Kedua tahap tersebut disimulasikan pada program Aspen Plus V.9 untuk memeriksa komposisi dari semua aliran. Dengan simulasi Aspen Plus, kondisi operasi yang sesuai dicari agar mendapat komposisi aliran sesuai yang diharapkan, yaitu ketika komposisi kontaminan air, *light ends*, dan *gas oil* berada pada tingkat yang paling minimum pada aliran minyak pelumas mentah. Maka dari variabel yang ada didapatkan kondisi paling optimum dimana kondisi optimum dengan *%removal* yang tinggi dan menggunakan *steam* yang tidak terlampaui mahal. Kondisi optimum pada proses penghilangan kandungan air, *light ends*, dan *gas oil* dari campuran minyak pelumas bekas yaitu *feed pre-flash drum* pada 160°C, sedangkan pada kolom distilasi vakum suhu *feed* sebesar 200°C, tekanan kolom 10 kPa, dan  $R/R_{\min}$  2. Didapatkan *%Removal* kandungan air dari campuran minyak pelumas bekas pada kolom *pre-flash drum* sebesar 70,86 %, *%removal* kandungan *light ends* dari campuran minyak pelumas bekas pada kolom *pre-flash drum* sebesar 23,77%, dan *%removal* kandungan *gas oil* dari campuran minyak pelumas bekas pada kolom distilasi vakum sebesar 98,76%. Dengan kondisi tersebut maka didapatkan *%recovery* dari *lube oil* sebesar 99,87%.

**Kata kunci:** minyak pelumas bekas, *pre-flash drum*, kolom distilasi vakum, air, *light ends*, *gas oil*, simulasi, Aspen Plus V.9, *%Removal*, *%Recovery*

# **ATMOSPHERIC DISTILLATION AND GAS OIL REMOVAL PROCESS DESIGN FOR RE-REFINING USED LUBE OIL**

Students' Name : Rizki Kurnia Mahardika      2313100054  
                                 Achmad Zulfikar Fawzi      2313100055  
Department : Chemical Engineering FTI-ITS  
Advisors : 1. Prof. Ir. Renanto Handogo, M.S, Ph.D.  
                                 2. Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D.

## ***ABSTRACT***

*In used lubricating oil refining, it is necessary to remove few components such as water, light ends (iso-butane, n-butane, n-pentane), and gas oil from a mixture of used lubricating oil. Those components are impurities generated after using of lubricating oil on the machine. The separations are conducted into two steps, which are water and light ends removal from a mixture of used lubricating oil and gas oil removal from a mixture of used lubricating oil. Water and light ends are removed in an atmospheric distillation, because the boiling point range of water and light ends contents range from -1 to 100 °C so it can be operated in normal condition (100-160°C and atmospheric pressure) in the single stage distillation column. Whereas the gas oil is removed in a gas oil removal, because boiling point range of gas oil about 68-281 °C so it must be operated in high temperature condition. For lower temperature of operating condition, distillation column must be operated in vacuum condition. Separation in the atmospheric distillation is modelled by pre-flash drum, so the manipulated variable in the simulation is the inlet stream temperature. Separation in the gas oil removal is modelled by vacuum distillation, so the manipulated variables in the simulation are the column temperature, pressure, and reflux ratio.*

*Those two steps are simulated using Aspen Plus V.9 in order to check the composition of all streams. By simulating using Aspen Plus, the best operating condition to get expected streams compositions, when the water, light ends, and gas oil compositions are at the minimum level in the crude lube oil stream, could be achieved. So from the available variables obtained, the most optimum conditions obtained on high %removal of contaminants and low steam usage that not too expensive. The optimum conditions in the process of water, light ends, and gas oil removal from used lubricating oil mixture that feed pre-flash drum at 160°C, while the vacuum distillation column feed at 200°C, column pressure 10 kPa, and reflux ratio at  $R/R_{min}$  2. The percentage of water content removal from used lubricating oil mixture on pre-flash drum column is 70,86%, light ends content removal from used lubricating oil mixture on pre-flash drum column is 23,77%, and gas oil content removal from used lubricating oil mixture on vacuum distillation column is 98,76%. With these conditions, obtained the percentage of recovery lube oil is 99,87%.*

***Keywords: used lube oil, pre-flash drum, vacuum distillation column, water, light ends, gas oil, simulation, Aspen Plus V.9, %Removal, %Recovery***

## LEMBAR PERSETUJUAN

Laporan penelitian skripsi berjudul:

**" Perancangan *Atmospheric Distillation* dan *Gas Oil Removal* dalam Pengolahan Minyak Pelumas Bekas "**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan:

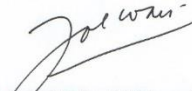
Surabaya, 8 Juli 2017

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2



**Prof. Ir. Renanto, MS., Ph.D.**  
NIP. 1953 07 19 1978 03 1001

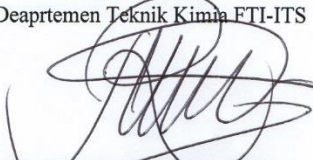


**Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D.**  
NIP. 1973 06 15 1999 03 1003

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses

Departemen Teknik Kimia FTI-ITS



**Prof. Ir. Renanto, MS., Ph.D.**  
NIP. 1953 07 19 1978 03 1001

Penyusun:



**Rizki Kurnia Mahardika**  
NRP. 2313 100 054



**Achmad Zulfikar Fawzi**  
NRP. 2313 100 055

# LEMBAR PENGESAHAN

## **“PERANCANGAN PROSES DISTILASI ATMOSFERIK DAN PENGHILANGAN GAS OIL DALAM PENGOLAHAN MINYAK PELUMAS BEKAS”**

### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1  
Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RIZKI KURNIA MAHARDIKA**

**2313 100 054**

**ACHMAD ZULFIKAR FAWZI**

**2313 100 055**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. Renanto, M.S. Ph.D. .... (Pembimbing I)
2. Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D. .... (Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S. .... (Penguji I)
4. Prof. Dr. Ir. Kuswandi, DEA .... (Penguji II)
5. Setiyo Gunawan, S.T. .... (Penguji III)





## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena rahmat-Nya lah kami dapat menyelesaikan laporan skripsi ini. Adapun maksud penyusunan laporan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia Institut Sepuluh Nopember Surabaya. Judul laporan skripsi yang disusun adalah:

### **“Perancangan *Atmospheric Distillation* dan *Gas Oil Removal* dalam Pengolahan Minyak Pelumas Bekas Menjadi Minyak Pelumas Dasar”**

Pada kesempatan ini, atas segala bimbingan dan bantuannya dalam pengerjaan laporan skripsi ini, kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah Subhanahu wa ta'ala dan Nabi Muhammad Shalallahu 'alaihi wasallam.
2. Orang tua penulis yang telah memberikan banyak doa, motivasi, dan dukungan selama penulis mennggerjakan laporan ini.
3. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Kepala Departement Teknik Kimia FTI-ITS.
4. Bapak Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D., selaku Kepala Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses.
5. Bapak Prof. Ir. Renanto, M.S., Ph.D., selaku pembimbing I kami dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku pembimbing II kami dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh dosen Teknik Kimia FTI – ITS atas semua ilmu serta bimbingan selama kami menimba ilmu di Teknik Kimia ITS.
8. Teman – teman Perdalpro Crew seperjuangan, Nandyo, Danial, Ivan, Gani, Agung, Intan, Novi, Sherly, Wisnu, Bilal, dan teman Perdalpro Crew yang lain.

9. Kakak-kakak di Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses, Mas Sony, Mas Misfa, Mas Adit, dan kakak-kakak yang lainnya.
10. Teman - teman K-53 Teknik Kimia FTI-ITS yang selalu memberi semangat dan dukungan.
11. Serta semua pihak lainnya yang tidak bisa disebutkan penulis satu persatu yang telah membantu selama penulisan laporan.

Semoga segala kebaikan dan keikhlasan yang telah diberikan mendapatkan balasan dari Tuhan Yang Maha Esa. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan dan untuk penelitian di masa yang akan datang.

Akhirnya semoga tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi Penulis dan Pembaca khususnya.

Surabaya, Juli 2017  
Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	ii
<b>ABSTRAK</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>KATA PENGANTAR</b>	v
<b>DAFTAR ISI</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	ix
<b>DAFTAR TABEL</b>	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-2
I.3 Tujuan Penelitian	I-3
I.4 Manfaat Penelitian	I-3
I.5 Batasan Masalah	I-3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II.1 Deskripsi Proses Pengolahan Minyak Pelumas Bekas	II-1
II.2 Spesifikasi Minyak Pelumas Bekas	II-3
II.3 Keseimbangan Uap-Cair	II-4
II.4 Distilasi	II-6
II.5 <i>Pre-Flash Drum</i>	II-8
II.6 Distilasi Vakum	II-9
II.7 Desain Kolom Distilasi	II-10
II.8 Parameter-Parameter Kualitas Minyak Pelumas Mentah	II-12
II.9 Metode Analisa Minyak	II-14
II.10 Pemilihan Aplikasi Termodinamika untuk Permodelan Proses	II-16
II.11 Penelitian Terdahulu	II-17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
III.1 Studi Literatur	III-2
III.2 Pemilihan Model Termodinamika ( <i>Fluid Package</i> )	III-3

III.3	Tahap Pemodelan dan Penyederhanaan Unit Proses .....	III-3
III.4	Pengambilan Data Operasi, Desain Alat, dan Analisa Laboratorium .....	III-3
III.5	Pembuatan Model Simulasi Proses <i>Steady-State</i> .....	III-4
III.6	Variabel pada <i>Pre-Flash Drum</i> .....	III-5
III.7	Variabel pada Kolom Distilasi Vakum .....	III-6
III.8	Analisa Data .....	III-7
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1	Spesifikasi Feed .....	IV-1
IV.2	Simulasi Operasi Unit <i>Pre-Flash Drum</i> .....	IV-2
IV.3	Analisa Data Simulasi Unit <i>Pre-Flash Drum</i> .....	IV-3
IV.4	Simulasi Operasi Unit Kolom Distilasi Vakum .....	IV-8
IV.5	Analisa Data Simulasi Unit Kolom Distilasi Vakum .....	IV-11
IV.5.1	Variabel Suhu Feed .....	IV-11
IV.5.2	Variabel Tekanan Kolom ..	IV-13
IV.5.3	Variabel <i>Reflux Ratio</i> .....	IV-15
IV.5.4	Kebutuhan <i>Steam</i> dan <i>Cooling Water</i> .....	IV-18
IV.6	Analisa Data Simulasi Overall .....	IV-21
IV.7	Kondisi Optimum .....	IV-27
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN</b>	
V.1	Kesimpulan .....	V-1
V.2	Saran .....	V-2
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....		x
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		xii
<b>APPENDIKS</b> .....		xiii
<b>BIODATA</b> .....		xiv

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Flash Drum.....	II-8
Gambar III.1 Diagram Alir Metode Simulasi .....	III-1
Gambar III.2 <i>Process Flow Diagram</i> Pengolahan Minyak Pelumas Bekas .....	III-5
Gambar III.3 Rangkaian <i>Pre-Flash Drum</i> .....	III-5
Gambar III.4 Rangkaian Kolom Distilasi Vakum .....	III-6
Gambar IV.1 Pembuatan <i>Assay</i> pada ASPEN Plus .....	IV-1
Gambar IV.2 Grafik Persen Air dan <i>Light Ends</i> Terpisah terhadap Variabel Suhu Pemanas .....	IV-4
Gambar IV.3 Kebutuhan <i>Steam</i> Pemanas <i>Feed Pre-Flash Drum</i> .....	IV-8
Gambar IV.4 DSTWU Aspen PLUS .....	IV-9
Gambar IV.5 Simulasi Menggunakan DSTWU pada Aspen PLUS .....	IV-10
Gambar IV.6 Grafik Tekanan Kolom terhadap % <i>Removal</i> pada Kondisi Operasi T dan R 1,1 .....	IV-14
Gambar IV.7 Grafik Tekanan Kolom terhadap % <i>Removal</i> pada Kondisi Operasi T dan R 1,5 .....	IV-14
Gambar IV.8 Grafik Tekanan Kolom terhadap % <i>Removal</i> pada Kondisi Operasi T dan R 2 .....	IV-15
Gambar IV.9 Grafik <i>Reflux Ratio</i> terhadap % <i>Removal</i> pada Kondisi Operasi T dan P 6 kPa.....	IV-16
Gambar IV.10 Grafik <i>Reflux Ratio</i> terhadap % <i>Removal</i> pada Kondisi Operasi T dan P 8 kPa.....	IV-17
Gambar IV.11 Grafik <i>Reflux Ratio</i> terhadap % <i>Removal</i> pada Kondisi Operasi T dan P 10 kPa.....	IV-17
Gambar IV.12 Grafik T <i>Feed Gas Oil</i> terhadap Kebutuhan <i>Steam</i> pada Variabel Tekanan 10 kPa dan $R/R_{\min} 2$ .....	IV-18
Gambar IV.13 Grafik T <i>Feed Gas Oil</i> terhadap Kebutuhan <i>Cooling Water</i> pada Variabel Tekanan 10 kPa dan $R/R_{\min} 2$ .....	IV-19

Gambar IV.14 Grafik % <i>Recovery</i> Fraiksi Minyak Pelumas Bekas per Variabel Kolom Distilasi Vakum .....	IV-23
Gambar IV.15 Grafik Hasil Simulasi Kolom <i>Pre-Flash Drum</i> pada suhu <i>feed</i> 180 °C – 320 °C.....	IV-28
Gambar IV.16 PFD pengolahan minyak pelumas bekas satu unit kolom distilasi vakum.....	IV-29
Gambar IV.17 % <i>removal</i> kandungan air pada simulasi satu unit kolom distilasi vakum.....	IV-30
Gambar IV.18 % <i>removal</i> kandungan <i>light ends</i> pada simulasi satu unit kolom distilasi vakum.....	IV-31
Gambar IV.19 % <i>removal</i> kandungan <i>gas oil</i> pada simulasi satu unit kolom distilasi vakum.....	IV-31
Gambar IV.20 % <i>recovery</i> fraksi minyak pelumas pada simulasi satu unit kolom distilasi vakum. ....	IV-32
Gambar IV.21 Kebutuhan <i>steam</i> total pada variabel suhu feed 2 simulasi proses. ....	IV-33

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Model Termodinamika.....	II-16
Tabel III.1 Tabel Peralatan Simulasi Distilasi <i>Steady-State</i> .....	III-2
Tabel IV.1 Aliran Masuk dan Keluar <i>Pre-Flash Drum</i> .....	IV-3
Tabel IV.2 Variabel Suhu Pemanas pada Simulasi Unit <i>Pre-Flash Drum</i> .....	IV-3
Tabel IV.3 <i>Molar Vapor Fraction</i> untuk aliran <i>feed pre-flash drum</i> dalam berbagai kondisi variabel suhu .....	IV-5
Tabel IV.4 <i>Vapor-Liquid Fraction</i> pada Variabel Temperatur .....	IV-5
Tabel IV.5 Profil Kesetimbangan Fase <i>pre-flash drum</i> Variabel Suhu 110 °C dan 160 °C .....	IV-6
Tabel IV.6 Aliran Masuk dan Keluar Kolom Distilasi Vakum .....	IV-11
Tabel IV.7 Persentasi Penghilangan <i>Gas Oil</i> pada Tekanan 10kPa dan R 2 .....	IV-12
Tabel IV.8 Variabel Tekanan Kolom pada Simulasi Unit Kolom Distilasi Vakum .....	IV-13
Tabel IV.9 Variabel <i>Reflux Ratio</i> pada Simulasi Unit Kolom Distilasi Vakum .....	IV-15
Tabel IV.10 Aliran Masuk dan Keluar Kolom <i>pre-flash drum</i> pada Suhu 160 °C.....	IV-22
Tabel IV.11 Aliran Masuk dan Keluar Kolom Distilasi Vakum pada Tekanan 10 kPa dan $R/R_{\min}$ 2 per Variabel Suhu Pemanas Komponen <i>Heavy Key</i> dan <i>Light Key</i> ..	IV-24
Tabel IV.12 Fraksi Uap Kolom Distilasi Vakum pada Tekanan 10 kPa dan $R/R_{\min}$ 2 per Variabel Suhu Pemanas Komponen <i>Heavy Key</i> dan <i>Light Key</i> .....	IV-25
Tabel IV.13 Kondisi Operasi <i>Reboiler</i> pada Kolom Distilasi Vakum untuk Berbagai Macam Variabel .....	IV-26

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Minyak pelumas merupakan salah satu senyawa organik yang dihasilkan dari pengolahan minyak bumi. Minyak pelumas berfungsi untuk mengurangi gesekan yang terjadi pada permukaan benda yang bergerak dan mendistribusikan panas salah satunya yakni mesin kendaraan bermotor. Minyak pelumas dihasilkan dari berbagai macam kegiatan seperti untuk mesin industri dan mesin kendaraan bermotor. Setiap hari, jumlah pemakaian minyak pelumas bertambah seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor yang ada di Indonesia. Hal ini menyebabkan semakin bertambahnya limbah minyak pelumas bekas yang dihasilkan. Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999, minyak pelumas bekas termasuk sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dari sumber yang tidak spesifik. Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun yang kemudian disingkat limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan atau beracun yang karena sifat dan konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk lain.

Salah satu cara untuk mengurangi keberadaan limbah minyak pelumas bekas yang ada yakni dengan cara mengolahnya kembali menjadi bahan yang memiliki nilai guna. Selain membantu dari aspek lingkungan, pengolahan minyak pelumas bekas menjadi minyak pelumas dasar juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap minyak bumi yang biasa menjadi bahan baku minyak pelumas dasar.

Salah satu proses utama yang ada pada pengolahan minyak pelumas bekas menjadi minyak pelumas dasar adalah distilasi.



Salah satu proses distilasi yang ada yakni distilasi atmosferik dan distilasi vakum. Dari kedua distilasi yang ada pada proses pengolahan minyak pelumas bekas menjadi minyak pelumas dasar tersebut, distilasi atmosferik merupakan distilasi dengan tujuan untuk memisahkan kandungan air dan *light ends* sedangkan distilasi vakum merupakan distilasi dengan tujuan untuk memisahkan kandungan *gas oil* yang terdapat pada minyak pelumas bekas. (Speight, 2014)

Untuk mendapatkan produk distilat dengan spesifikasi yang telah ditentukan secara optimum, dibutuhkan kondisi operasi yang optimum. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dari unit distilasi atmosferik dan distilasi vakum harus diatur sehingga dapat menghasilkan produk yang optimum. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi dalam merancang kolom distilasi. Beberapa faktor tersebut antara lain komposisi *feed*, kondisi operasi kolom, tinggi kolom dan komposisi produk. (Luyben, 2006).

Berdasarkan permasalahan tersebut, dalam penelitian kali ini penulis bermaksud melakukan simulasi dan perancangan untuk kolom distilasi atmosferik dan vakum dalam proses pemurnian minyak pelumas bekas dari kandungan air, *light ends*, dan *gas oil*. Pendekatan permasalahan dilakukan dengan cara eksperimen dan simulasi kolom distilasi vakum dengan menggunakan *software Aspen Plus*.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang didapatkan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana kondisi operasi dan desain yang sesuai pada distilasi atmosferik yang berfungsi untuk untuk menghilangkan kandungan air dan *light ends* pada minyak pelumas bekas?
2. Bagaimana kondisi operasi dan desain yang sesuai pada kolom distilasi vakum yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan *Gas Oil* pada minyak pelumas bekas?

### **I.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mendapatkan kondisi operasi dan desain unit distilasi atmosferik dengan simulasi menggunakan program Aspen Plus.
2. Mendapatkan kondisi operasi dan desain untuk unit kolom distilasi vakum dengan simulasi menggunakan program Aspen Plus.

### **I.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain adalah :

1. Mengetahui kondisi operasi dan desain yang sesuai pada distilasi atmosferik dengan simulasi menggunakan program Aspen Plus.
2. Mengetahui kondisi operasi dan desain yang sesuai pada kolom distilasi vakum dengan simulasi menggunakan program Aspen Plus.

### **I.5 Batasan Masalah**

1. Proses pengolahan minyak pelumas bekas menjadi minyak pelumas mentah.
2. Sistem yang ditinjau adalah distilasi atmosferik dan kolom distilasi vakum.
3. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software Aspen Plus V.9*
4. Parameter kinerja kolom distilasi yang ditinjau adalah komposisi *feed*, kondisi operasi kolom, dan komposisi produk.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Deskripsi Proses Pengolahan Minyak Pelumas Bekas

Bahan baku minyak pelumas bekas secara garis besar memiliki beberapa kandungan seperti  $H_2O$ , *light ends*, *gas oil*, *asphalt*, sulfur dan fraksi minyak pelumas. Sebelum minyak pelumas bekas ini diolah menjadi minyak pelumas, maka diperlukan beberapa tahap untuk membersihkan kandungan minyak pelumas bekas dari pengotor.

Minyak pelumas bekas dari tangki penyimpanan dipompa lalu dipanaskan menuju *pre-flash drum*. Pada *pre-flash drum* ini akan dipisahkan kandungan air dan hidrokarbon ringan dari minyak pelumas bekas. Kolom ini beroperasi pada tekanan atmosferik. Kandungan air dan hidrokarbon ringan yang sudah dipisahkan selanjutnya dialirkan menuju tangki penyimpanan.

Selanjutnya aliran pelumas yang sudah bebas dari sebagian besar air dan hidrokarbon ringan dipanaskan dan dialirkan ke dalam kolom *gas oil removal*. Pada kolom ini, terjadi pemisahan *gas oil* dari minyak pelumas bekas pada kondisi vakum dengan tekanan sekitar 0,1 bar. *Gas oil* yang terpisah merupakan fraksi minyak pelumas *assay* dengan range suhu 70 °C hingga 288 °C. *Gas oil* yang terpisah akan dikompresi hingga tekanan atmosfer dan dikondensasi menjadi fase cair sehingga dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar. *Gas oil* tersebut akan dimasukkan ke dalam tangki penyimpanan gas menggunakan pompa.

Selanjutnya, aliran pelumas bekas yang sudah bebas dari *gas oil* dipanaskan menggunakan dimasukkan ke dalam kolom distilasi vakum kedua dengan tekanan sekitar 0,01 bar. Aliran bawah keluaran kolom tersebut dimasukkan ke dalam *thin film evaporator* pada suhu sekitar 350 °C dan menghasilkan keluaran atas berupa recycle fraksi *lube oil* dan keluaran bawah berupa *asphalt flux*. *Thin film evaporator* bekerja dengan cara menciptakan lapisan tipis cairan dengan penggunaan blade untuk

menghasilkan perpindahan panas yang cepat melalui film dengan residence time yang singkat (sekitar 30 detik). Penggunaan alat ini dikarenakan pelumas dapat terdegradasi pada suhu tinggi. Dari *thin film evaporator*, akan dikeluarkan cairan pekat berupa *asphalt flux* yang terdiri dari kandungan metal dan fraksi berat dari pelumas bekas. *Asphalt flux* dapat dijual ke industri *paving* dan *roofing*. Distilat dari distilasi vakum berupa cairan bening dan bersih.

Distilat dari kolom disitlasi vakum yang kedua lalu dipompa masuk ke dalam reaktor hidrosulfurisasi. Pada reaktor ini, terjadi proses penghilangan komponen sulfur yang terkandung di dalam aliran pelumas bekas menggunakan injeksi gas  $H_2$  dan katalis Co-Mo dengan support  $\gamma$ -alumina. Dari reaksi dehidrosulfurisasi, sulfur yang terikat akan terpisah sebagai gas  $H_2S$ . Minyak yang sudah bebas dari komponen sulfur selanjutnya akan dimasukkan ke dalam reaktor penjenuhan. Pada reaktor ini, rantai ganda dan aromatik akan dijenuhkan. Selanjutnya aliran proses menuju reaktor hidrogenasi dearomatisasi, pada reaktor ini rantai ganda dan aromatik akan dijenuhkan oleh hidrogen. Reaksi penjenuhan yang juga disebut hidrogenasi ini dibantu dengan katalis Ni-Mo dengan support  $\gamma$ -alumina. Minyak pelumas yang sudah jenuh selanjutnya dimasukkan ke dalam *flash drum* untuk memisahkan komponen  $H_2$  dan  $H_2S$  yang masih ada.

Minyak jenuh selanjutnya dimasukkan ke dalam *flash drum* untuk memisahkan komponen  $H_2$  dan  $H_2S$  yang masih ada. Aliran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *Desulfurizer* untuk memisahkan gas  $H_2S$  dari aliran dengan cara mengontakkannya dengan ZnO. ZnS (hasil reaksi dari ZnO dan  $H_2S$ ) dapat diregenerasi dengan mengontakkan dengan udara.  $H_2S$  selanjutnya disimpan di dalam tangki penyimpanan gas, dan produk bawah berupa gas  $H_2$  akan dimasukkan kembali ke sistem sebagai recycle gas  $H_2$ . Produk bawah dari *flash* kolom berupa lube oil bebas komponen  $H_2$ ,  $H_2S$ , Sulfur, dan sudah jenuh. Selanjutnya, base oil dialirkan ke dalam kolom fraksinasi akhir. Produk atas didinginkan lalu dimasukkan ke dalam separator untuk memisahkan gas hidrogen yang masih terlarut dalam *light base oil*. *Light base oil*

kemudian dipompa ke tangki penyimpanan dengan didinginkan terlebih dahulu.

Produk bawah dari kolom fraksinasi akhir berupa *heavy base oil*, yaitu fraksi dengan viskositas tinggi. Setelah keluar dari fraksinator, panas dari *base oil* dimanfaatkan kembali untuk memanaskan aliran minyak yang menuju fraksinator dengan menggunakan *heat exchanger*. Selanjutnya, *base oil* dialirkan ke dalam tangki penyimpanan setelah didinginkan terlebih dahulu hingga suhu produk minyak pelumas dasar yakni sekitar suhu 40 °C. (Speight , 2014)

## **II.2 Spesifikasi Minyak Pelumas Bekas**

Minyak pelumas bekas dihasilkan dari berbagai macam jenis mesin seperti mesin kendaraan bermotor, mesin motor diesel, maupun mesin turbin. Secara umum minyak pelumas bekas bersumber dari dua jenis produksi minyak pelumas yakni pelumas berbasis minyak bumi (*petroleum source*) atau *mineral base oil* dan *synthetic base oil*. Minyak pelumas bekas telah terkontaminasi oleh kotoran biasa ataupun bahan kimia akibat dari penggunaannya. Beberapa jenis kontaminan tersebut antara lain kontaminan asing dan produk dari penguraian minyak.

Terdapat berbagai macam kontaminan asing pada minyak pelumas bekas, baik dalam bentuk padatan maupun *liquid* campuran. Kontaminan dalam bentuk padatan masuk melalui udara di sekitar dan partikel logam dari mesin. Kontaminan dari udara berupa debu, tanah, dan kelembapan. Kontaminan yang berasal dari mesin adalah partikel logam yang disebabkan ausnya mesin, partikel karbon yang dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna, oksida logam yang hadir akibat korosi dari logam, air dari kebocoran sistem pendingin, air dari produk reaksi pembakaran, dan bahan bakar, aditif, atau produk sampingannya yang masuk ke dalam *crankcase* mesin. (Speight , 2014)

Banyak produk yang terbentuk dari penguraian minyak dapat menurunkan kualitas dari minyak pelumas. Campuran dari minyak, air, debu, tanah, dan partikel karbon yang terbentuk dari pembakaran yang tidak sempurna disebut *sludge*. Partikel tersebut yang menurunkan tingkat viskositas dari minyak pelumas sehingga kinerja dari minyak pelumas pada mesin menurun. Beberapa produk kontaminan lain yang terdapat pada minyak pelumas bekas hasil dari penguraian minyak antara lain air, senyawa sulfur, hidrokarbon ringan, *gas oil*, dan *residue*. Sulfur akan mengalami oksidasi pada suhu tinggi dan menghasilkan senyawa asam di dalam pelumas. Asam-asam yang terbentuk dapat mengakibatkan korosi pada logam. Air merupakan produk sampingan dari suatu proses pembakaran dan biasanya terjadi melalui timbunan gas buang. Atau sumber air yang lain adalah akibat kondensasi uap air di dalam mesin. Selain itu beberapa produk kontaminan lain dihasilkan dari proses oksidasi yang terjadi antara oksigen dengan struktur hidrokarbon pelumas sehingga menghasilkan produk-produk oksidasi. Produk oksidasi dapat mengakibatkan kekentalan pelumas meningkat. Laju oksidasi pelumas akan meningkat seiring meningkatnya suhu operasi pada suatu mesin. (Intertek, 2015)

### **II.3 Kesetimbangan Uap-Cair**

Kesetimbangan uap-cair adalah keadaan yang menggambarkan keberadaan fase cair dan uap pada suatu kondisi. Data kesetimbangan uap-cair/*vapor liquid equilibrium* (VLE) dari campuran biner seringkali ditampilkan dalam bentuk plot. Plot VLE menunjukkan *bubble point* dan *dew point* dari campuran biner pada tekanan konstan. Garis kurva tersebut, disebut garis kesetimbangan, mendeskripsikan komposisi dari fase cair dan uap pada kesetimbangan pada suatu tekanan yang ditetapkan. (Tham, 2006)

Untuk dapat menyelesaikan permasalahan distilasi, harus tersedia data-data keseimbangan uap-cair sistem. Data keseimbangan uap-cair dapat berupa tabel atau diagram. Tiga macam diagram keseimbangan yang penting dalam VLE adalah:

a. Diagram Titik Didih

Diagram titik didih adalah diagram yang menyatakan hubungan antara suhu atau titik didih dengan komposisi uap dan cairan yang berkeseimbangan. Di dalam diagram titik didih tersebut terdapat dua buah kurva, yaitu kurva *liquid* jenuh dan uap jenuh. Kedua kurva ini membagi daerah di dalam diagram menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Daerah satu fase, yaitu daerah cairan yang terletak di bawah kurva *liquid* jenuh.
2. Daerah satu fase, yaitu daerah yang terletak di atas kurva uap jenuh.
3. Daerah dua fase, yaitu daerah uap jenuh dan cair jenuh yang terletak di antara kurva *liquid* jenuh dan kurva uap jenuh.

b. Diagram Keseimbangan Uap-Cair

Diagram keseimbangan uap-cair adalah diagram yang menyatakan hubungan keseimbangan antara komposisi uap dengan komposisi cairan. Diagram keseimbangan uap-cair dengan mudah dapat digambar jika tersedia titik didihnya.

c. Diagram Entalpi-Komposisi

Diagram entalpi-komposisi adalah diagram yang menyatakan hubungan antara entalpi dengan komposisi suatu sistem pada tekanan tertentu. Pada diagram tersebut, terdapat dua buah kurva, yaitu kurva *liquid* jenuh dan kurva uap jenuh. Setiap titik pada kurva *liquid* jenuh dihubungkan dengan garis hubung "*tie line*" dengan titik tertentu pada kurva uap jenuh, dimana titik-titik tersebut dalam keadaan keseimbangan. Dengan adanya kedua

kurva tersebut, daerah di dalam diagram terbagi menjadi tiga daerah, yaitu:

- Daerah cairan yang terletak di bawah kurva *liquid* jenuh.
- Daerah uap yang terletak di atas kurva uap jenuh.
- Daerah *liquid* dan uap yang terletak diantara kurva *liquid* jenuh dengan kurva uap jenuh
- Dibawah kurva *liquid* jenuh terdapat isoterm-isoterm yang menunjukkan entalpi cairan pada berbagai macam komposisi pada berbagai temperatur.

( Komariah, dkk, 2009)

## II.4 Distilasi

Distilasi adalah salah satu metode pemisahan komponen dari sebuah larutan yang tergantung pada distribusi zat antara fase gas dan cair, diterapkan pada kasus di mana semua komponen muncul pada kedua fase. Metode ini tidak menambahkan zat baru ke dalam campuran untuk membentuk fase kedua, seperti yang terjadi pada absorpsi atau desorpsi gas, fase baru diambil dari larutan asli dengan cara penguapan atau kondensasi. (Treybal, 1981)

Distilasi merupakan campuran yang dididihkan dimana komponen yang memiliki titik didih yang lebih rendah akan mempunyai uap yang lebih banyak. Sehingga saat uap tersebut terkondensasi, kommdesat akan mengandung lebih banyak komponen yang volatil. Pada saat yang sama, campuran yang asli akan mengandung material yang tidak volatil. Kolom distilasi didesain untuk membuat proses pemisahan ini efisien. (Tham, 2006)

Dalam proses pengolahan minyak pelumas bekas menjadi minyak pelumas mentah, terdapat dua kondisi operasi pada kolom, yaitu kondisi pada tekanan atmosferik dan pada tekanan vakum. Pada *pre-flash drum* beroperasi pada tekanan atmosferik dipisahkan kandungan air dan hidrokarbon ringan dari minyak pelumas bekas, selanjutnya pada kolom distilasi pada tekanan



vakum. Aliran minyak pelumas bekas yang sudah bebas dari sebagian besar air dan hidrokarbon ringan dipanaskan oleh *pre-heater* kemudian dimasukkan ke dalam unit distilasi vakum. Pada kolom ini, terjadi penghilangan kandungan *gasoil* pada aliran minyak pelumas bekas dengan cara distilasi pada kondisi vakum, yaitu pada tekanan 0,012 - 0,03 bar. *Gasoil* yang terpisah merupakan hidrokarbon dengan jumlah atom karbon sebanyak lima hingga sebelas atom. (Speight, 2014)

Dalam pemisahan antara dua komponen utama pada campuran multikomponen, terdapat persamaan yang dapat diturunkan untuk menghitung jumlah minimal *equilibrium stages*, dimana berhubungan pada *total reflux*.

$$y_{i,N} = K_{i,N} K_{i,N-1} \cdots K_{i,2} K_{i,1} x_{i,1}$$

$$y_{j,N} = K_{j,N} K_{j,N-1} \cdots K_{j,2} K_{j,1} x_{j,1}$$

$$N_{\min} = \frac{\log\{[(x_{i,N+1})/x_{i,1}][x_{j,1}/(x_{j,N+1})]\}}{\log \alpha_{i,j}}$$

Nilai K merupakan nilai perbandingan antara fasa *liquid* dengan fasa *vapor* masing-masing komponen. Sedangkan  $\alpha_{i,j}$  merupakan nilai perbandingan antara komponen i dengan komponen j. Dimana i merupakan *light key* (LK) dan j merupakan *heavy key* (HK), jumlah *equilibrium stages* minimum dipengaruhi oleh komponen *nonkey* hanya dengan nilai *relative volatility* antara 2 *key components*.

Untuk menghitung *flow rate* d (distilat) dan b (produk bawah) pada semua komponen *nonkey*, dapat dihitung menggunakan persamaan Fenske. Dari nilai  $N_{\min}$  yang didapatkan pada persamaan di atas, maka dapat digunakan untuk menghitung nilai d dan b.

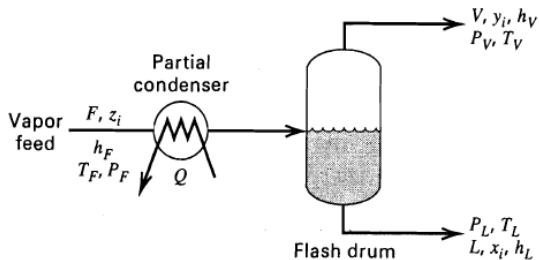
$$b_i = \frac{f_i}{1 + (d_r/b_r)(\alpha_{i,r})_m^{N_{\min}}}$$

$$d_i = \frac{f_i(d_r/b_r)(\alpha_{i,r})_m^{N_{\min}}}{1 + (d_r/b_r)(\alpha_{i,r})_m^{N_{\min}}}$$

(Seader, 2006)

## II.5 Pre-Flash Drum

Proses yang terjadi di *pre-flash drum* jenis ini adalah *single-stage equilibrium stage* dimana *feed* dipanaskan terlebih dahulu untuk menghasilkan fraksi uap lebih banyak dibanding fraksi *liquid*. Suhu *feed* dan *pressure drop* pada *valve* diatur untuk menguapkan *feed* ke titik yang diinginkan. Titik yang dituju tersebut berada di antara *bubble point* dan *dew point*. *Bubble point* adalah saat gelembung uap pertama kali akan muncul (pada *saturated liquid*), sedangkan *dew point* adalah saat ketika tetesan *liquid* pertama kali akan terbentuk (saat *saturated vapor*).



**Gambar II.1** Flash Drum

*Pre-flash drum* adalah tipe bejana yang digunakan untuk memisahkan fraksi uap dari cairan. Pada gambar II.1 dapat dilihat susunan unit *pre-flash drum*. Proses pemisahan pada *flash drum* terjadi dimana cairan (*feed*) dalam bentuk *liquid* dipanaskan pada *heater* dan tekanan diturunkan menggunakan *valve*. Kemudian cairan dipisahkan secara adiabatik melewati *valve* ke tekanan rendah menuju *flash drum*. Proses pada *flash drum* menghasilkan fraksi uap yang terpisah dengan fraksi *liquid* yang tertinggal dan keluar sebagai produk bawah dalam bentuk *liquid*. Apabila penggunaan *valve* diabaikan maka fraksi uap akan terbentuk setelah proses pemanasan pada *heater*. Aliran yang sebelumnya berisi cairan saja akan membentuk uap yang disebabkan oleh penurunan tekanan atau peningkatan suhu tersebut. Uap yang

terbentuk lalu dipisahkan dari cairan pada *flash drum*. (Seader, 2006)

Terdapat dua jenis *pre-flash drum*, yaitu *adiabatic flash* dan *isothermal flash*. *Adiabatic flash* merupakan proses pemisahan *vapor-liquid* pada komposisi, *flow rate*, dan temperature tertentu yang kemudian tekanan operasinya diturunkan secara adiabatik menggunakan *valve*. Sedangkan *isothermal flash* merupakan proses pemisahan *vapor-liquid* pada temperatur dan tekanan ( $T_v$ ,  $T_l$ ,  $P_v$ ,  $P_l$ ) yang setimbang. Terdapat beberapa langkah dalam menghitung *liquid* dan *vapor* yang dihasilkan dari *pre-flash drum*.

**Table 4.4** Rachford-Rice Procedure for Isothermal-Flash Calculations When  $K$ -Values Are Independent of Composition

Specified variables:  $F, T_F, P_F, z_1, z_2, \dots, z_C, T_V, P_V$

**Steps**

(1)  $T_L = T_V$

(2)  $P_L = P_V$

(3) Solve

$$f(\Psi) = \sum_{i=1}^C \frac{z_i(1 - K_i)}{1 + \Psi(K_i - 1)} = 0$$

for  $\Psi = V/F$ , where  $K_i = K_i(T_V, P_V)$ .

(4)  $V = F\Psi$

(5)  $x_i = \frac{z_i}{1 + \Psi(K_i - 1)}$

(6)  $y_i = \frac{z_i K_i}{1 + \Psi(K_i - 1)} = x_i K_i$

(7)  $L = F - V$

(8)  $Q = h_V V + h_L L - h_F F$

## Gambar II.2 Flash Calculation

### II.6 Distilasi Vakum

Residu atmosferik (AR) dari kolom distilasi atmosferik masih mengandung beberapa senyawa berharga yang harus di *recovery*. Residu yang tidak dapat dipisahkan pada kolom distilasi atmosferik memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk memecah atau mendekomposisi *crude oil* sesuai produk yang diinginkan. Oleh karena itu, residu di *recovery* menjadi produk yang diinginkan pada kolom dengan tekanan dibawah atmosfir (vakum). Sehingga untuk memisahkan komponen tertentu yang

membutuhkan suhu yang lebih tinggi biasanya digunakan kolom distilasi dengan kondisi vakum. (Abu Bakar, 2005)

Aliran pelumas yang sudah bebas dari sebagian besar air dan hidrokarbon ringan dipanaskan oleh *pre-heater* kemudian dimasukkan ke dalam unit distilasi vakum. Pada kolom ini, terjadi penghilangan *gasoil* pada aliran pelumas dengan cara distilasi pada kondisi vakum, yaitu pada tekanan 6-10 KPa dengan range suhu distilasi 200 °C – 250 °C. Produk atas dari unit distilasi vakum adalah *gasoil*. Sedangkan produk bawah dari unit distilasi vakum yang sudah bebas dari *gasoil* akan diproses ke unit selanjutnya. (Speight, 2014)

## **II.7 Desain Kolom Distilasi**

Kolom distilasi adalah alat yang banyak digunakan untuk memisahkan beragam zat kimia. Teori dasar dari pemisahan ini adalah perbedaan titik didih dari komponen yang dipisahkan. Pada bagian bawah kolom distilasi terdapat sumber panas, yaitu reboiler. Pada bagian atas kolom distilasi terdapat condenser yang mendinginkan uap dari stage teratas menjadi cair dan sebuah penampung yang menampung cairan dan mengizinkan sebagian cairan ini dikembalikan sebagai reflux dan sebagian lagi diambil sebagai distilat. (Brooks, 1993)

Kolom distilasi merupakan alat untuk memisahkan komponen dari campuran fasa cair, khususnya yang mempunyai perbedaan titik didih dan tekanan uap yang cukup besar. Perbedaan tekanan uap tersebut akan menyebabkan fasa uap yang ada dalam kesetimbangan dengan fasa cairnya mempunyai perbedaan komposisi yang cukup signifikan. Fasa uap mengandung lebih banyak komponen yang memiliki tekanan uap rendah, sedangkan fasa cair lebih banyak mengandung komponen yang memiliki tekanan uap tinggi. (Tham, 2006)

Faktor-faktor yang mempengaruhi operasi kolom distilasi, antara lain:

1. Kondisi *feed* (q)

Keadaan campuran dan komposisi *feed* (q) mempengaruhi garis operasi dan jumlah stage dalam pemisahan serta mempengaruhi lokasi *feed tray*.

2. Kondisi Refluks

Pemisahan semakin baik jika sedikit *tray* yang digunakan untuk mendapatkan tingkat pemisahan. *Tray* minimum dibutuhkan dibawah kondisi total refluks, yakni tidak ada penarikan distilat. Sebaliknya refluks berkurang, garis operasi untuk seksi rektifikasi bergerak terhadap garis kesetimbangan.

3. Kondisi Aliran Uap

Kondisi aliran uap yang merugikan dapat menyebabkan:

a. *Foaming*

Mengacu pada ekspansi *liquid* melewati uap atau gas. Walaupun menghasilkan kontak antar fase *liquid*-uap yang tinggi, *foaming* berlebihan sering mengarah pada terbentuknya *liquid* pada *tray*.

b. *Entrainment*

Mengacu pada *liquid* yang terbawa uap menuju *tray* di atasnya dan disebabkan laju alir uap yang tinggi menyebabkan efisiensi *tray* berkurang.

Bahan yang sukar menguap terbawa menuju plate yang menahan *liquid* dengan bahan yang mudah menguap. Dapat mengganggu kemurnian distilat. *Entrainment* berlebihan dapat menyebabkan *flooding*.

c. *Weeping/Dumping*

Fenomena ini disebabkan aliran uap yang rendah. Tekanan yang dihasilkan uap tidak cukup untuk menahan *liquid* pada *tray*. Karena itu *liquid* mulai merembes melalui perforasi.

d. *Flooding*

Terjadi karena aliran uap berlebih menyebabkan *liquid* terjebak pada uap diatas kolom. Peningkatan tekanan dari

uap berlebih menyebabkan kenaikan *liquid* yang bertaan pada plate diatasnya. *Flooding* ditandai dengan adanya penurunan tekanan diferensial dalam kolom dan penurunan yang signifikan pada efisiensi pemisahan.

(Komariah dkk, 2009)

## **II.8 Parameter-Parameter Kualitas Minyak Pelumas Mentah**

Untuk mengetahui kualitas minyak pelumas mentah diperlukan beberapa parameter standar. Setiap industri refinery oil biasanya mempunyai nilai range tertentu untuk setiap parameter sesuai dengan spesifikasi produk yang diinginkan. Beberapa parameter bahan bakar yang umum digunakan antara lain:

### **1. *Specific gravity* (s.g)**

*Specific gravity* (API gravity) adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan berat bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Penggunaan *specific gravity* adalah untuk mengukur berat minyak bila volumenya telah diketahui. Dari nilai s.g tersebut dapat diketahui seberapa berat/ringan produk yang dihasilkan, dimana tiap produk mempunyai batas atau range tertentu yang menunjukkan tingkat kemurniannya.

### **2. *Flash Point* (Titik Nyala)**

*Flash point* (titik nyala) merupakan suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak tersebut didekatkan pada nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala ini bisa digunakan sebagai salah satu indikasi jika fuel tercampur dengan fraksi- fraksi ringan dari suatu hydrocarbon, dimana bila fuel tercampur dengan fraksi ringan maka kecenderungan angka flash point akan semakin turun.

### 3. *Pour Point* (Titik Tuang)

Pour point (titik tuang) merupakan suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gravitasi. Nilai titik tuang ini di butuhkan sehubungan dengan persyaratan praktis dari prosedur penimbunan dan pemakaian dari bahan bakar minyak. Hal ini disebabkan bahan bakar minyak sering sulit untuk dipompa apabila suhu telah dibawah titik tuangnya.

### 4. Total Acid Number

Total Acid Number (TAN) adalah pengukur keasaman dan dasar konstituen dalam produk minyak bumi. Keasaman dari minyak baru biasanya berasal dari jenis dan konsentrasi dari material aditif yang spesifik, sedangkan keasaman dari minyak bekas untuk mengukur tingkat oksidasi dari cairan tersebut. (Theo Mang, 2014)

### 5. Kinematic Viscosity

Viskositas adalah karakteristik liquid yang mengkaitkan shear stress dengan velocity gradient yang dihasilkan pada liquid tersebut. Viskositas dapat mengindikasikan adanya kontaminasi pada minyak pelumas bekas. Zat yang terpolimerisasi dan teroksidasi dapat meningkatkan viskositas minyak. ASTM D445 merupakan standar yang menjelaskan prosedur pengukuran kinematic viscosity dengan mengukur waktu alir dari minyak pada viscometer kapiler. (Lynch, 2008)

### 6. Viscosity Index

Viscosity Index (VI) adalah sebuah bilangan empiris yang mengindikasikan efek dari perubahan viskositas oleh suhu. Viscosity Index yang tinggi menandakan bahwa terhadai perubahan viskositas yang kecil dengan berubahnya suhu. Nilai VI dihitung dari pengukuran kinematic viscosity pada suhu 40 °C dan 100 °C berdasarkan standar ASTM D2270. (Speight, 2014)

## II.9 Metode Analisa Minyak

Pada umumnya analisa penentuan titik didih pada campuran petroleum menggunakan dua cara, yaitu distilasi ASTM (*American Society for Testing and Material*) dan distilasi TBP (*True Boiling Point*).

- Distilasi TBP
  - Disebut distilasi 15/5, kolom ekuivalen dengan 15 tahap (plate) & perbandingan refluks 5/1.
  - Derajat kemurnian relatif tinggi, setiap komponen terpisahkan dengan baik (dari komponen ringan sampai dengan komponen berat).
  - Kondisi operasi, tekanan atmosferik & temperatur sampai dengan 316°C (600°F), kemudian dilanjutkan dengan tekanan vacuum dengan tujuan mencegah perengkahan fraksi minyak yang berat.
  - Volume minyak mentah 1000-5000 cc sehingga volume distilat setiap fraksi banyak dan cukup untuk analisa kualitas fraksi.
- Distilasi ASTM atau distilasi Engler
  - Derajat kemurnian relatif rendah (tidak ada kolom & refluks).
  - Hasil distilasi ASTM dapat digunakan untuk menganalisa minyak mentah.
  - Analisa cepat
  - Banyak digunakan untuk mengontrol operasi.
  - Untuk minyak mentah dan produk – produk minyak mentah.
    - Volume 100 cc.
    - Tekanan atmosferik.

Pemanasan diatur sedemikian rupa pada 5 – 10 menit diperoleh tetesan pertama, hasil dikumpulkan dengan kecepatan 4 – 5 cc per menit. Temperature uap tetesan pertama disebut IBP (Initial Boiling Point). Temperature selanjutnya dicatat setelah



hasil distillate terkumpul 5 ml, 10 ml dan setiap mendapat 10 ml distilate berikutnya. Analisa minyak menggunakan standar ASTM (*American Society For Testing Material*) dan IP (*Institute of Petroleum*).

Metode analisa minyak yang digunakan antara lain :

- *Spesifik Gravity* (ASTM D-1298)

Merupakan suatu perbandingan berat dari sejumlah volume tertentu suatu zat terhadap berat dari volume yang sama dari air pada suhu tertentu.

- *Distilasi* (ASTM D-86)

Merupakan suatu proses distilasi skala laboratorium untuk mengetahui trayek titik didih ( TBP ) dari beberapa produk minyak.

- Titik Nyala/Flash Point dan Titik Api/*Fire Point* (ASTM D 93)

Tujuan : Menentukan titik nyala dan titik api dari produk minyak bumi

- Pour Point (Titik Tuang) ASTM D-97

Tujuan : untuk mengetahui temperatur terendah dimana minyak masih mengalir apabila didinginkan pada kondisi tertentu.

- *Aniline Point* (ASTM D-611)

Tujuan : menentukan temperatur terendah terpisahnya anilin dengan sampel minyak yang diperiksa.

- *Smoke Point*/Titik Asap (ASTM D-1322)

Tujuan : menentukan nyala api tertinggi yang tidak menimbulkan asap.

- Pemeriksaan Viskositas (ASTM D-445)

Tujuan : Menentukan harga viskositas dari beberapa produk minyak.

(Luyben, 2006)

## II.10 Pemilihan Aplikasi Termodinamika untuk Pemodelan Proses

Dalam penelitian, begitu juga dengan simulasi untuk mendekati kondisi simulasi dengan kondisi lapangan sangat diperlukan pemilihan model termodinamika yang paling akurat. Sebagai acuan pemilihan model termodinamika ditampilkan pada tabel II.1.

<u>Sistem Kimiawi</u>	<u>Pilihan Model Utama</u>	<u>Pilihan Model Kedua</u>	<u>Bidang Masalah</u>
<u>Pemisahan Udara</u>	Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong	Corresponding States	
<i>Gas Processing</i>	Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong	BWRS	
<i>Gas Treating</i>	Kent-Eisenberg, Electrolyte NRTL		Data, Parameter, Model untuk campuran amine
<i>Petroleum Refining</i>	BK10, Chao-Seader, Grayson-Streed, Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong, Lee-Kessler-Plocker		Karakterisasi Heavy Crude
<i>Petrochemicals-VLE</i>	Peng-Robinson, Soave-Redlich-Kwong, PSRK	NRTL, UNIQUAC, UNIFAC	Data, Parameter
<i>Petrochemicals-LLE</i>	NRTL, UNIQUAC		Data, Parameter, Model untuk sistem VLLE
<i>Chemicals</i>	NRTL, UNIQUAC, PSRK	UNIFAC	Data, Parameter
<u>Elektrolit</u>	Electrolyte NRTL, Zemaitis	Pitzer	Data, Parameter, Databank, Model untuk poli-elektrolit
<i>Oligomer</i>	Polymer NRTL	UNIQUAC, UNIFAC	Fugasitas komponen murni, Databank
<u>Polimer</u>	Polymer NRTL, PC-SAFT	Sanchez-Lacombe, SAFT, UNIFAC-FV	Data, Parameter, Databank, algoritma flash, Model untuk polimer polar, block copolymer

**Tabel II.1. Model Termodinamika**

Dalam tabel II.1 pemilihan model termodinamika dipengaruhi oleh sistem kimia. Untuk mendapatkan model yang paling akurat pemilihan juga dipengaruhi oleh kondisi operasi (tekanan dan temperatur) terutama untuk proses dalam fase gas.

(Chen dan Mathias, 2002)

## II. 11 Penelitian terdahulu

1. Jurnal: “*Optimization of Crude Distillation System Using Aspen Plus : Effect of Binary Feed Selection on Grass-root Design*”

Dalam penelitian tersebut dijelaskan tentang optimisasi distilasi *crude oil* (CDU) menggunakan *software* Aspen Plus pada larutan *crude oil* biner. Proses yang dilakukan merupakan proses *refining crude oil*. Dalam melakukan *refining crude oil* pada penelitian ini simulasi menggunakan beberapa model alat yakni unit menara pra-flash (PF), sebuah unit distilasi atmosferik (ADU) dan unit distilasi vakum (VDU). *Crude distillation* merupakan proses pemisahan hidrokarbon yang terdapat dalam *crude oil* berdasarkan titik didihnya. Pada penelitian ini menggunakan *software* Aspen Plus untuk simulasi dari *crude plant* dengan kondisi *steady state simulation*.

Feed *crude oil* yang digunakan pada penelitian ini yaitu minyak mentah Bombay, minyak mentah Arab dan minyak mentah Nigeria. Variabel yang digunakan merupakan berbagai kombinasi biner dari minyak mentah. Faktor yang dipertimbangkan adalah fungsi keuntungan (maksimalisasi) untuk kasus tanpa batasan laju alir produk dan bahan baku dan biaya energi (minimisasi). Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa batas laju alir produk secara sensitif mempengaruhi diameter kolom destilasi atmosferik dan laju aliran *feed crude*. (More, R.K, 2009)

2. Penelitian “Simulasi Pemisahan Minyak Pelumas Bekas Menjadi Minyak Pelumas Mentah”

Pada penelitian ini dilakukan pemisahan minyak pelumas bekas dengan simulasi menggunakan *software* Aspen HYSYS. Dalam penelitian tersebut dilakukan pemurnian minyak pelumas bekas pada proses penghilangan kandungan air, fraksi hidrokarbon ringan, dan gas oil. Pemisahan dilakukan dalam dua tahap, yaitu penghilangan air dan *light ends* dan pemisahan *gas oil*. Penghilangan air dan *light ends* dilakukan pada *pre-flash drum*, sedangkan pemisahan *gas oil* dilakukan pada kolom distilasi pada kondisi *vacuum*. Pemisahan dengan *pre-flash drum* dilakukan sesuai dengan *single equilibrium stage*. Pemisahan untuk gas oil dilakukan dengan menggunakan kolom distilasi dengan kondisi *vacuum*. Pada simulasi kolom distilasi *vacuum*, variabel yang diatur adalah suhu feed, tekanan kolom, letak feed masuk, suhu reboiler, dan reflux ratio dari kolom distilasi.

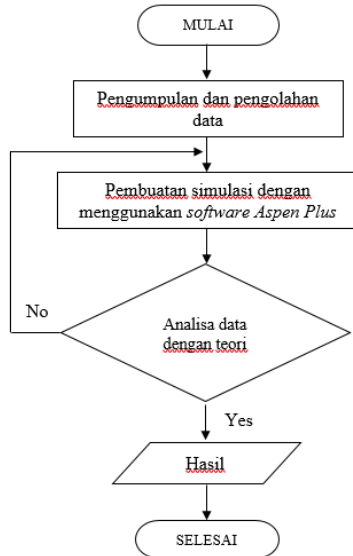
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini rangkaian unit distilasi atmosferik dan penghilangan *gas oil* disusun menggunakan model simulasi *pre-flash drum* dan kolom distilasi vakum.

Beberapa tahap yang dilakukan dalam penelitian yakni :

- 1) Memasukkan properti *feed* minyak pelumas bekas untuk komponen *conventional* dan *assay*.
- 2) Pemilihan model termodinamika (*fluid package*).
- 3) Pengambilan data-data operasi dari literatur untuk simulasi.
- 4) Tahap permodelan *steady state* dengan menggunakan program Aspen Plus.
- 5) Analisa data hasil simulasi.

Diagram alir penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:



**Gambar III.1** Diagram Alir Metode Simulasi

Dalam permodelan proses terdapat beberapa alat yang tersedia pada *software* Aspen Plus yang dapat digunakan untuk proses distilasi *steady state* yaitu:

**Tabel III.1** Tabel Peralatan Simulasi Distilasi *Steady-State*

Aspen Plus Tool	Kegunaan	Tujuan
1. Aspen Analysis Tools	Mengevaluasi kelayakan pemisahan campuran.	Digunakan untuk menganalisa komponen <i>assay feed</i> minyak pelumas bekas.
2. Aspen Plus short-cut model (DSTWU)	Mensimulasikan proses distilasi dengan kondisi steady-state (multicomponent short-cut model)	Untuk mensimulasikan parameter nilai awal pada distilasi seperti : jumlah <i>stage</i> , <i>reflux ratio</i> , dan laju alir distilat.
3. Aspen Plus rigorous model (RadFrac)	Mensimulasikan proses distilasi dengan kondisi steady-state (single column)	Digunakan untuk menentukan parameter kondisi operasi pada proses simulasi yang lebih lanjut.

(Rolando, 2012)

Sesuai dengan tabel di atas, maka digunakan Aspen Plus Short-Cut Model (DSTWU) dan Aspen Plus Rigorous Model (RadFrac) untuk mensimulasikan distilasi atmosferik dan vakum yang berjalan secara *steady-state*. Karena proses simulasi *steady-state* akan dilakukan 4 jenis simulasi yaitu model DSTWU dan RadFrac masing-masing pada distilasi atmosferik dan vakum.

### III.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan proses penelitian yang dilakukan. Beberapa data yang didapat melalui literatur seperti panduan awal kondisi

operasi, beberapa properti komponen pada minyak pelumas bekas, dan data pengaruh variabel terhadap kondisi proses.

### **III.2 Pemilihan Model Termodinamika (*Fluid Package*)**

Pemilihan termodinamika didasarkan pada komponen-komponen yang terlibat dan kondisi operasi. Agar program simulasi dapat berjalan dengan baik, harus dilakukan pemilihan model termodinamika dengan tepat. Pada simulasi ini, dipakai model termodinamika *Peng-Robinson* yang sesuai untuk proses pengolahan minyak pelumas bekas.

### **III.3 Tahap Pemodelan dan Penyederhanaan Unit Proses**

Pemodelan dan penyederhanaan meliputi:

- Penyesuaian model dengan paket *assay oil manager* pada *software Aspen Plus*.
- Penyesuaian kebutuhan peralatan dengan peralatan yang dimiliki *Aspen Plus*.

### **III.4 Pengambilan Data Operasi, Desain Alat, dan Analisa Laboratorium**

Pengambilan data yang dilakukan untuk mencapai simulasi yang mendekati kondisi sebenarnya. Data operasi yang dipergunakan untuk simulasi ini adalah:

- Tekanan operasi kolom distilasi (*overhead* dan *bottom*)
- Laju alir *feed* dan produk
- Temperatur *feed*, *produk*, temperatur kolom (*overhead* dan *bottom*)
- Q yang dihasilkan dari kondenser dan *reboiler*.

Sedangkan data analisis laboratorium yang dipakai untuk simulasi ini adalah:

- Data komponen minyak pelumas bekas (*Feed*)

Untuk data desain (Ukuran) peralatan, digunakan data default yang disarankan dari *software Aspen Plus* serta dilakukan prediksi terhadap ukuran-ukuran peralatan.

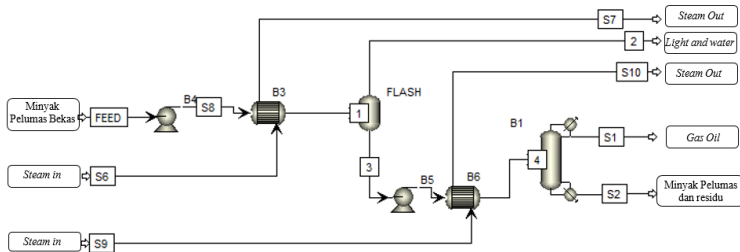
### III.5 Pembuatan Model Simulasi Proses *Steady-state*

Dalam penelitian ini, model simulasi proses menggunakan *software* Aspen Plus untuk model simulasi *steady state*. Proses simulasi distilasi atmosferik dan distilasi vakum dapat dilihat pada *process flow diagram* pada gambar III.2. Beberapa data yang diperlukan untuk membuat model simulasi, antara lain kondisi feed masuk minyak pelumas bekas (komposisi, suhu, tekanan, dan *rate* masuk), spesifikasi *steam*, spesifikasi air pendingin, suhu pemanas, kondisi operasi kolom, dan susunan kolom.

Proses simulasi menggunakan *software* Aspen Plus dimulai dengan rangkaian *pre-flash drum* yang terdiri dari pompa, *heater* dan *separator*. Pompa berfungsi untuk menaikkan tekanan aliran, *heater* berfungsi untuk meningkatkan suhu aliran *feed*, dan *separator* berfungsi untuk memisahkan fraksi uap dengan fraksi *liquid*-nya. Pada simulasi *pre-flash drum* ini, variabel yang diubah adalah suhu aliran keluar *heater*.

Proses simulasi selanjutnya adalah distilasi dengan kondisi vakum. Rangkaian simulasi distilasi vakum terdiri dari pompa, *pre-heater* dan kolom distilasi dengan *total condenser* dan *total reboiler*. Desain awal dari kolom distilasi dilakukan dengan melakukan simulasi *shortcut model column* (DSTWU) untuk menentukan parameter awal yakni jumlah *tray*, *feed stage*, *reflux ratio*, dan laju alir distilat. Parameter awal tersebut didapatkan berdasarkan kondisi dan komposisi *feed*, *recovery light key* dan *heavy key* yang diinginkan serta tekanan *condenser* dan *reboiler*. Dalam simulasi yang dilakukan, digunakan air sebagai media pendingin dengan suhu 30 °C. Sedangkan untuk kolom distilasi vakum selanjutnya digunakan dalam model simulasi *rigorous model column* (RadFrac). Beberapa variabel yang diubah pada simulasi kolom distilasi adalah suhu *feed*, *feed stage*, jumlah *tray* teoritis, *reflux ratio*, tekanan kolom, dan jenis kolom. Untuk data desain kolom, digunakan fitur *radfrac column>design and specify column internal* dari *software* Aspen Plus untuk memilih jenis kolom, diameter kolom, tinggi kolom serta *packing/tray* yang digunakan berdasarkan kolom pada PFD.

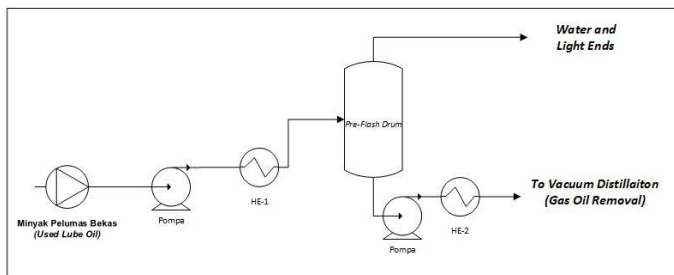




**Gambar III.2** *Process Flow Diagram* Pengolahan Minyak Pelumas Bekas

### III.6 Variabel pada *Pre-Flash Drum*

Simulasi proses *pre-flash drum* disusun sesuai dengan rangkaian proses pada gambar III.3. Variabel proses yang diubah pada operasi *pre-flash drum* adalah temperatur *heater* yang akan mempengaruhi fraksi uap campuran. Pada unit *pre-flash drum* ini bertujuan untuk memisahkan kandungan air dan hidrokarbon ringan dari minyak pelumas bekas. Temperatur *heater* diatur sehingga kandungan air dan hidrokarbon ringan nantinya akan keluar sebagai produk atas dan fraksi minyak pelumas sebagai produk bawah sudah bebas dari kandungan air dan hidrokarbon ringan. Variabel yang digunakan untuk suhu pemanas pada penelitian ini adalah 100-160 °C dengan interval 10 °C.



**Gambar III.3** Rangkaian *Pre-Flash Drum*

### III.7 Variabel pada Kolom Distilasi Vakum

Simulasi proses pada kolom distilasi vakum disusun sesuai dengan rangkaian pada gambar III.4. Variabel proses yang digunakan pada penelitian ini yakni operasi kolom distilasi vakum antara lain suhu *feed*, *feed stage*, jumlah *tray* teoritis, *reflux ratio*, tekanan kolom, dan jenis kolom.

1. Suhu *Feed*

Perubahan suhu *feed* dilakukan untuk mempelajari respon kolom meliputi kebutuhan utilitas dan *recovery* yang didapatkan. Variasi yang dilakukan adalah pada suhu *feed* 200-250 °C dengan interval 10 °C.

2. *Feed Stage*

Pada kolom distilasi *short-cut model* (DSTWU) terdapat variabel respon yang digunakan untuk menentukan parameter awal kondisi operasi kolom yang selanjutnya digunakan pada simulasi model rigorous (RadFrac). *Feed stage* kolom distilasi didapatkan berdasarkan *recovery light key* dan *heavy key* yang diinginkan serta dipengaruhi oleh variabel tekanan *condenser* dan *reboiler*.

3. Jumlah *Tray* Teoritis

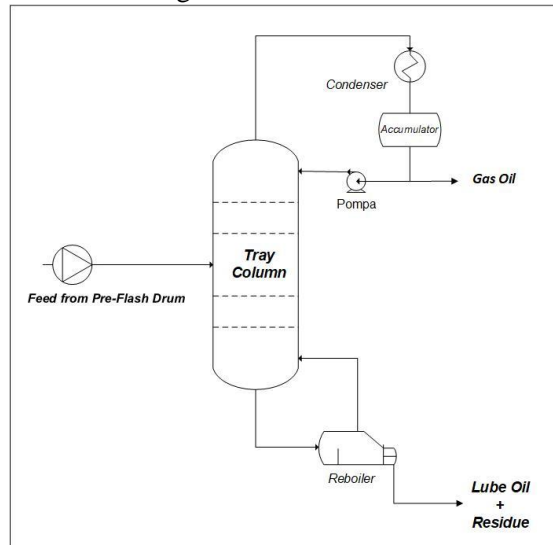
Jumlah dari *tray* teoritis diperlukan untuk mendapatkan pemisahan tertentu. Jumlah *tray* teoritis didapatkan dari simulasi *short-cut model* (DSTWU) didapatkan berdasarkan *recovery light key* dan *heavy key* yang diinginkan serta dipengaruhi oleh variabel tekanan *condenser* dan *reboiler* sama seperti *feed stage*.

*Reflux Ratio*

Besaran aliran refluks menentukan jumlah pendingin yang diberikan kepada kolom. Laju alir dari refluks berbanding lurus dengan kebutuhan pendingin. Pada simulasi menggunakan *Aspen Plus*, variasi perubahan yang dilakukan terhadap perbandingan aliran refluks dengan refluks minimum adalah 1.1, 1.5, dan 2.

4. Tekanan Kolom

Tekanan kolom merupakan parameter desain yang terpenting pada kolom karena tekanan kolom mempengaruhi kebutuhan pemanas dan pendingin. Selain itu, tekanan kolom ikut menentukan *stage* teoritis dari kolom. Variasi yang dilakukan terhadap tekanan kolom adalah 6-10 kPa dengan interval 2 kPa.



**Gambar III.4** Rangkaian Kolom Distilasi Vakum

### III.8 Analisa Data

Untuk memastikan bahwa hasil dari proses simulasi yang dilakukan sesuai dengan teori pada literatur, maka diperlukan analisa data hasil simulasi. Hasil simulasi yang dibuat memiliki keterkaitan data yang sesuai dengan perubahan variabel. Pada simulasi pemisahan ini, keterkaitan data yang dapat diperiksa adalah kondisi operasi dan komposisi dari aliran keluar tiap kolom. Jika data yang dihasilkan sesuai dengan teori, simulasi yang dilakukan sudah tepat.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Spesifikasi Feed

Langkah awal sebelum memulai simulasi menggunakan ASPEN Plus, *feed* minyak pelumas bekas ditetapkan komposisinya sesuai dengan data STP untuk data *assay*, sedangkan komponen yang lainnya sesuai dengan data Intertek. Untuk melakukan *assay*, perlu mengetahui beberapa parameter yang akan dimasukkan seperti densitas minyak, *kinematic viscosity*, berat molekul, kurva distilasi, kurva viskositas, dan kandungan *light ends*.

Distillation curve

Distillation curve type  
ASTM D1160

Pressure  
1 atm

Bulk gravity value  
☒ Specific gravity 0,915  
☐ API gravity

Percent distilled	Temperature
0	150
5	270
10	325
20	395
30	420
40	430
50	440
60	450
70	470
80	505
90	570
100	590

**Gambar IV.1** Pembuatan *Assay* pada ASPEN Plus

Gambar IV.1 merupakan fitur assay pada program ASPEN Plus. Fitur ini merupakan penambahan komponen yang tidak diketahui secara spesifik namun dengan memasukkan beberapa parameter yang ada maka akan diterjemahkan menjadi *pseudocomponent* pada software Aspen Plus. Setelah *assay* dibuat, kondisi *feed* ditentukan pada kondisi normal yaitu tekanan 1 atm dan suhu 30 °C. *Rate* dari *feed* juga ditentukan sebesar 200 l/jam atau jika dikonversikan menjadi aliran massa sebesar 183 kg/jam. Selain komponen dari *assay*, terdapat beberapa komponen utama yaitu komponen *light ends*, *gas oil*, sulfur, dan aromatis. Untuk komponen *light ends* diwakili oleh butane, komponen *gas oil* diwakili oleh senyawa PCI dengan titik didih dibawah 288 °C, komponen sulfur diwakili oleh senyawa dibenzenetiophene, dan komponen aromatis diwakili oleh senyawa chrysene.

## **IV.2 Simulasi Operasi Unit *Pre-Flash Drum***

Unit *flash drum* ini berfungsi sebagai pemisahan air dan fraksi hidrokarbon ringan dari minyak pelumas bekas. Mula-mula aliran minyak pelumas bekas dipanaskan menggunakan *heat exchanger* hingga terbentuk fraksi uap. Kemudian, dengan adanya fraksi uap tersebut, minyak pelumas bekas dialirkan menuju *flash drum* dengan prinsip tekanan di dalam *flash drum* sedikit lebih rendah dari tekanan *feed* masuk. Tekanan didalam *flash drum* dioperasikan pada tekanan atmosferik. Sehingga, di dalam bejana akan terpisah antara aliran uap menuju bagian atas bejana dan aliran *liquid* menuju bagian bawah bejana. Aliran uap yang diharapkan adalah air dan fraksi hidrokarbon ringan. Aliran *liquid* menuju ke proses selanjutnya diharapkan bebas dari kandungan air dan hidrokarbon ringan. Pada tabel IV.1 dapat dilihat kondisi aliran masuk dan aliran keluar dari *pre-flash drum*.

**Tabel IV.1** Aliran Masuk dan Keluar *Pre-flash Drum*

Parameter	Feed Pre-Flash Drum	Water + light ends	Minyak Pelumas Bekas
Fase	Mixed	Vapor	Liquid
<i>Molar Vapor Fraction</i>	0,02024	1	0
Temperatur (C)	160	160	160
Tekanan (kPa)	101,86	101,325	101,325
<i>Mole Flows (kmol/jam)</i>	0,547	0,011	0,536
<i>Mass Flows (kg/jam)</i>	183	0,333	182,667
<i>Enthalpy Flow (kJ/jam)</i>	-259617,607	-2534,057	-257082,83
<i>Volume Flow (l/jam)</i>	605,588	391,888	217,02

Terdapat tiga aliran pada tabel IV.1 yakni aliran masuk (*feed*), aliran uap dari *flash drum*, dan aliran *liquid* dari *flash drum*. Setelah keluar dari pemanas terjadi *flashing* sehingga pada aliran minyak pelumas bekas terbentuk fraksi uap yang akan keluar sebagai produk atas dari *separator flash drum* dalam bentuk uap. Aliran tersebut sebagian besar mengandung air dan hidrokarbon ringan. Sedangkan produk bawah yang telah bebas dari kandungan air dan hidrokarbon ringan pada fase *liquid* selanjutnya akan diteruskan ke unit kolom distilasi vakum.

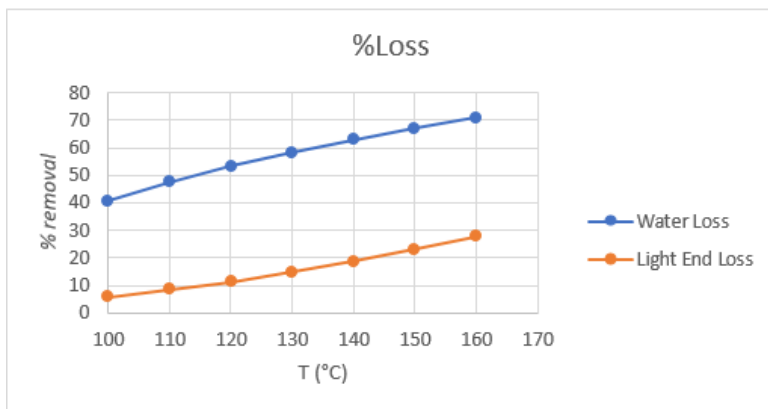
### IV.3 Analisa Data Simulasi Unit *Pre-Flash Drum*

Simulasi Unit *Pre-Flash Drum* dilakukan dengan mengganti suhu pemanas sebagai variabel simulasi dengan menetapkan kondisi operasi sesuai dengan keadaan *steady state*.

**Tabel IV.2** Variabel Suhu Pemanas pada Simulasi Unit *Pre-Flash Drum*

Kompoen/ Temperatur	%Removal						
	100 °C	110 °C	120 °C	130 °C	140 °C	150 °C	160 °C
Water	41,15	47,88	53,59	58,58	63,04	67,1	70,86
Light Ends	5,55	7,79	10,34	13,23	16,44	19,96	23,77

Hasil simulasi unit *pre-flash drum* dapat dilihat pada tabel IV.2. Terdapat variasi dari variabel suhu pemanas yaitu 100 °C hingga 160 °C. Hasil dari simulasi unit ini diharapkan dapat memisahkan kandungan air dan *light ends* dari fraksi minyak pelumas sebanyak-banyaknya. Hasil *%Removal* yang paling besar didapatkan pada suhu pemanas 160 °C. Kandungan air yang dapat dihilangkan dari *feed* sebesar 70,86 % sedangkan kandungan *light ends* yang dapat dihilangkan dari *feed* sebesar 23,77 %. Dengan meningkatnya suhu pemanas maka akan meningkatkan *vapor fraction* dari *feed* sehingga akan semakin meningkat pula air dan *light ends* yang dapat dihilangkan.



**Gambar IV.2** Grafik Persen Air dan *Light Ends* Terpisah terhadap Variabel Suhu Pemanas

<b>Temperatur (°C)</b>	<b>Molar Vapor Fraction</b>
<b>100</b>	0,011
<b>110</b>	0,013
<b>120</b>	0,014
<b>130</b>	0,016
<b>140</b>	0,017
<b>150</b>	0,019
<b>160</b>	0,020

**Tabel IV.3** *Molar Vapor Fraction* untuk aliran *feed pre-flash drum* dalam berbagai kondisi variabel suhu

<b>Temperatur (C)</b>	<b>Water</b>		<b>Light ends</b>	
	Vapor Fraction	Liquid Fraction	Vapor Fraction	Liquid Fraction
<b>100</b>	0,965	0,015	0,014	0,002
<b>110</b>	0,955	0,013	0,016	0,002
<b>120</b>	0,943	0,012	0,019	0,002
<b>130</b>	0,929	0,010	0,022	0,002
<b>140</b>	0,912	0,009	0,025	0,002
<b>150</b>	0,893	0,008	0,028	0,002
<b>160</b>	0,870	0,007	0,031	0,002

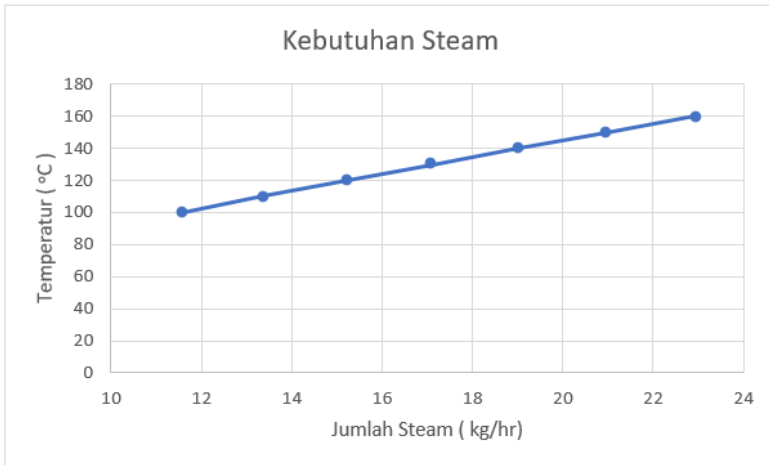
**Tabel IV.4** *Vapor-Liquid Fraction* pada Variabel Temperatur



**Tabel IV.5** Profil Kesetimbangan Fase *pre-flash drum* variabel suhu 110 °C dan 160 °C

Komponen	FEED	Feed 100 °C		Feed 160 °C	
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
ISOBU-01	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001
N-BUT-01	0,0000	0,0000	0,0003	0,0000	0,0005
N-PEN-01	0,0026	0,0025	0,0133	0,0020	0,0300
N-HEX-01	0,0028	0,0027	0,0064	0,0024	0,0191
N-HEP-01	0,0053	0,0053	0,0056	0,0049	0,0211
N-OCT-01	0,0044	0,0045	0,0021	0,0043	0,0100
N-NON-01	0,0059	0,0059	0,0013	0,0058	0,0075
WATER	0,0249	0,0148	0,9647	0,0074	0,8704
DIBEN-01	0,0045	0,0045	0,0000	0,0046	0,0001
CHRY-01	0,1449	0,1465	0,0000	0,1479	0,0000
PC147C	0,0083	0,0083	0,0020	0,0082	0,0104
PC156C	0,0098	0,0099	0,0016	0,0098	0,0091
PC170C	0,0097	0,0098	0,0010	0,0098	0,0065
PC184C	0,0097	0,0098	0,0006	0,0099	0,0046
PC198C	0,0098	0,0099	0,0004	0,0100	0,0032
PC211C	0,0099	0,0100	0,0002	0,0101	0,0022
PC225C	0,0101	0,0102	0,0002	0,0102	0,0015
PC239C	0,0103	0,0104	0,0001	0,0105	0,0011
PC253C	0,0109	0,0110	0,0001	0,0111	0,0007
PC267C	0,0121	0,0122	0,0000	0,0123	0,0005
PC281C	0,0136	0,0138	0,0000	0,0139	0,0004
PC295C	0,0145	0,0147	0,0000	0,0148	0,0003
PC309C	0,0149	0,0150	0,0000	0,0152	0,0002
PC323C	0,0160	0,0162	0,0000	0,0164	0,0001
PC337C	0,0171	0,0173	0,0000	0,0175	0,0001
PC350C	0,0186	0,0188	0,0000	0,0190	0,0000
PC364C	0,0207	0,0209	0,0000	0,0212	0,0000
PC378C	0,0244	0,0247	0,0000	0,0250	0,0000
PC392C	0,0381	0,0385	0,0000	0,0389	0,0000
PC407C	0,0678	0,0686	0,0000	0,0693	0,0000
PC421C	0,1330	0,1344	0,0000	0,1358	0,0000
PC440C	0,1366	0,1381	0,0000	0,1395	0,0000
PC467C	0,0609	0,0615	0,0000	0,0621	0,0000
PC495C	0,0332	0,0336	0,0000	0,0339	0,0000
PC523C	0,0236	0,0239	0,0000	0,0241	0,0000
PC552C	0,0118	0,0119	0,0000	0,0120	0,0000
PC582C	0,0590	0,0596	0,0000	0,0602	0,0000
<b>Total</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1</b>	<b>1,000</b>	<b>1</b>

Berdasarkan tabel IV.3 menunjukkan peningkatan jumlah fraksi uap total minyak pelumas bekas pada berbagai variabel suhu sedangkan tabel IV.4 dapat dilihat bahwa fraksi uap dari air semakin naik seiring dengan naiknya suhu pemanas. Pada suhu 100 °C yang merupakan titik didih air, komponen air dalam campuran minyak pelumas bekas memiliki besaran fraksi uap yang tinggi, sesuai dengan properti dari air itu sendiri. Hal ini berbanding terbalik dengan persentasi dari penghilangan air yang semakin tinggi suhu pemanas maka semakin banyak air yang hilang. Jumlah air yang bisa dihilangkan paling banyak terdapat pada variabel suhu paling tinggi yakni sebesar 70,86 % pada suhu 160 °C. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kandungan air yang tercampur dalam campuran minyak pelumas bekas atau komponen lain, sehingga mempengaruhi besaran kandungan air yang dapat dihilangkan. Selain itu melalui tabel IV.5 menunjukkan beberapa komponen lain yang memiliki titik didih dibawah titik air dan berada pada *range* variabel suhu ikut teruap pada distilat. Sehingga mempengaruhi jumlah fraksi uap air yang semakin menurun. Pernyataan tersebut ditunjukkan dengan penurunan jumlah fraksi uap yang terjadi pada kolom *pre-flash drum* pada peningkatan variabel suhu, namun terjadi peningkatan jumlah kandungan air yang dapat dihilangkan. Berbeda dengan kandungan *light ends* yang menunjukkan jumlah fraksi uap meningkat begitu juga dengan persentasi kandungan *light ends* yang dapat dihilangkan berbanding lurus dengan peningkatan variabel suhu. Sedikitnya jumlah persentasi penghilangan kandungan *light ends* disebabkan oleh kecilnya jumlah *light ends* pada minyak pelumas bekas. Sisa kandungan *light ends* dan air akan ikut dihilangkan pada unit selanjutnya.



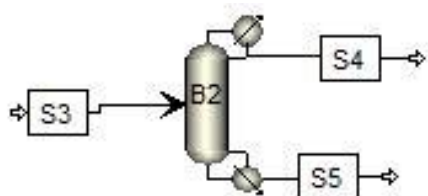
**Gambar IV.3** Kebutuhan *Steam* Pemanas *Feed Pre-Flash Drum*

Tabel IV.3 menunjukkan kebutuhan *steam* pemanas sebelum memasuki kolom *pre-flash drum*. Kebutuhan *steam* mengalami peningkatan yang cenderung konstan seiring dengan kenaikan suhu pemanas. Sehingga untuk variabel perubahan suhu *feed* yang paling tinggi memiliki jumlah kebutuhan *steam* yang paling besar yakni sebesar 22,94 kg/jam dengan spesifikasi *saturated steam* suhu 330 °C tekanan 12862,5 kPa. Sehingga kebutuhan *steam* untuk memisahkan kandungan air dan *light ends* dalam jumlah maksimum yakni ada pada variabel suhu pemanas 160 °C dengan kebutuhan *steam* sebesar 22,94 kg/jam

#### IV.4 Simulasi Operasi Unit Kolom Distilasi Vakum

Unit kolom distilasi vakum ini berfungsi sebagai pemisahan *gas oil* dari minyak pelumas bekas. Aliran minyak pelumas yang telah dipisahkan kandungan air dan *light ends* pada *pre-flash column* dialirkan menuju kolom distilasi vakum. Sebelum dialirkan menuju kolom distilasi vakum, dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *heat exchanger* untuk menimbulkan *vapor fraction* pada aliran minyak pelumas. Untuk melakukan

simulasi kolom distilasi vakum secara *steady-state*, mula-mula membuat permodelan unit kolom distilasi dahulu. Simulasi kolom distilasi memerlukan beberapa parameter utama seperti jumlah *tray*, *feed tray*, *reflux ratio*. Terdapat fitur *Shortcut Column* (DSTWU) dari Aspen PLUS untuk mendapatkan parameter tersebut yang selanjutnya digunakan untuk *input* dari kolom distilasi (RadFrac). Dalam penggunaan DSTWU diperlukan data-data komponen yaitu *Light Key* dan *Heavy Key*, kondisi operasi berupa tekanan pada *condenser* dan *reboiler*, serta *reflux ratio minimum* dari *trial reflux ratio*. Permodelan DSTWU yang dilakukan pada Aspen PLUS adalah seperti pada gambar IV.4 dan IV.5.



**Gambar IV.4** DSTWU Aspen PLUS \*

Specifications	Calculation Options	Convergence	Comments
<div>Column specifications</div> <div> <input type="radio"/> Number of stages <input type="text" value="5"/> </div> <div> <input checked="" type="radio"/> Reflux ratio <input type="text" value="0,6"/> </div>			
<div>Pressure</div> <div>           Condenser <input type="text" value="0,06"/> <input type="text" value="bar"/> </div> <div>           Reboiler <input type="text" value="0,06"/> <input type="text" value="bar"/> </div>			
<div>Key component recoveries</div> <div>           Light key            Comp <input type="text" value="PC281C"/>            Recov <input type="text" value="0,9"/> </div> <div>           Heavy key            Comp <input type="text" value="PC295C"/>            Recov <input type="text" value="0,075"/> </div>		<div>Condenser specifications</div> <div> <input checked="" type="radio"/> Total condenser  <input type="radio"/> Partial condenser with all vapor distillate  <input type="radio"/> Partial condenser with vapor and liquid distillate         </div> <div>           Distillate vapor fraction <input type="text" value="0"/> </div>	

**Gambar IV.5** Simulasi Menggunakan DSTWU pada Aspen PLUS

Pada tabel IV.4 dapat dilihat kondisi aliran masuk dan aliran keluar dari kolom distilasi vakum.

**Tabel IV.6** Aliran Masuk dan Keluar Kolom Distilasi Vakum

Parameter	Parameter	Feed Kolom Vakum	Distilat	Minyak Pelumas
<b>Fase</b>	Phase	Mixed	Vapor	Liquid
<b>Temperatur</b>	Temperature (C)	160	160	160
<b>Tekanan (kPa)</b>	Pressure (kPa)	101,86	101,325	101,325
<b>Molar Vapor Fraction</b>		0,020	1	0
<b>Mole Flows (kmol/jam)</b>	Mole Flows (kmol/hr)	0,547	0,011	0,536
<b>Mass Flows (kg/jam)</b>	Mass Flows (kg/hr)	183	0,333	182,667
<b>Enthalpy Flow (kJ/jam)</b>	Enthalpy Flow (kJ/hr)	-259617,607	-2534,057	-257082,830
<b>Volume Flow (l/jam)</b>	Volume Flow (l/hr)	605,588	391,888	217,020

## IV.5 Analisa Data Simulasi Unit Kolom Distilasi Vakum

Kolom distilasi vakum dapat disimulasikan setelah simulasi dengan kolom DSTWU. Dalam simulasi kolom distilasi vakum, *light key* adalah PC-281C dan *heavy key* adalah PC-295C. Diharapkan distilat dari kolom distilasi vakum mengandung komponen dengan titik didih dibawah 281 °C sedangkan *bottom* dari kolom distilasi vakum mengandung komponen dengan titik didih di atas 295 °C dan sedikit komponen dengan titik didih di bawah 295 °C. Pada simulasi kolom distilasi, akan dianalisa kecenderungan pengaruh variasi dari variabel yang diberikan terhadap %removal gas oil pada kolom distilasi.

### IV.5.1 Variabel Suhu Feed

Pada tabel IV.5, didapatkan hasil simulasi unit kolom distilasi vakum pada perubahan variabel suhu feed

pada tekanan 10 kPa dan *reflux ratio* aktual berbanding *reflux ratio* minimumnya berjumlah 2. Berdasarkan perubahan suhu feed yang dilakukan, didapatkan persen removal dari masing-masing variabel suhu. Pada variabel suhu *feed* dilakukan perubahan range suhu 200 °C – 250 °C dengan interval 10 °C. Untuk data masing – masing perubahan suhu *feed* pada kolom distilasi vakum ada pada lampiran appendiks. Berdasarkan hasil yang telah ditunjukkan, untuk masing – masing perubahan tekanan dan *reflux ratio* didapatkan hasil yang tidak mengalami perbedaan yang cukup jauh. Hasil persen *removal* gas oil yang paling maksimal didapatkan untuk variabel suhu 200 °C pada kondisi tekanan 10 Kpa dan perbandingan *reflux ratio* aktualnya dua kali dari *reflux ratio* minimumnya.

**Tabel IV.7** Persentasi penghilangan *gas oil* pada tekanan 10 Kpa dan R 2

Temperatur	% removal gas oil						
200 °C	98,81	98,80	98,79	98,78	98,77	97,18	98,76
210 °C	98,64	98,64	98,63	98,63	98,62	98,62	98,62
220 °C	98,12	98,13	98,13	98,14	98,15	94,87	98,16
230 °C	97,57	97,74	97,64	97,67	97,69	97,97	97,99
240 °C	96,73	96,84	96,92	97,00	97,07	97,13	97,19
250 °C	94,80	95,02	95,20	95,35	86,42	95,50	95,62

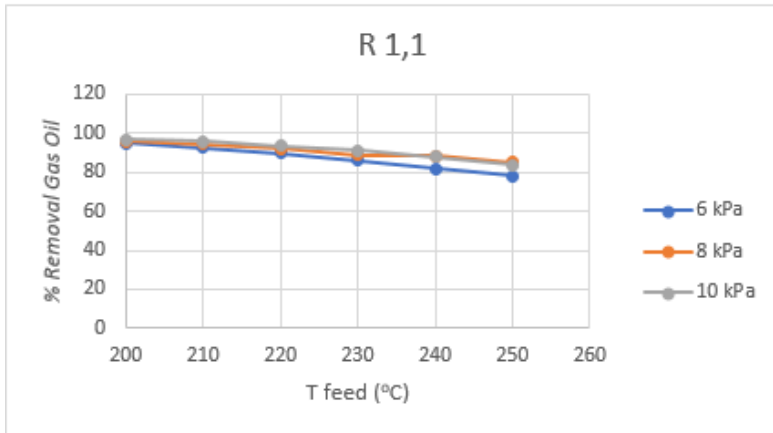
### IV.5.2 Variabel Tekanan Kolom

**Tabel IV.8** Variabel Tekanan Kolom pada Simulasi Unit Kolom Distilasi Vakum

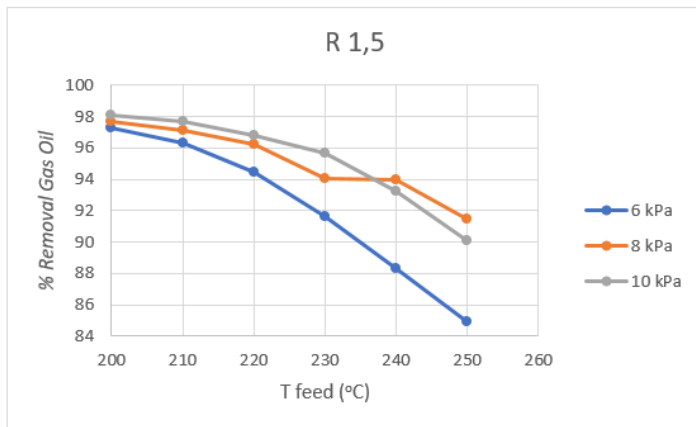
Suhu (°C)	R 1,1			R 1,5			R 2		
	6 kPa	8 kPa	10 kPa	6 kPa	8 kPa	10 kPa	6 kPa	8 kPa	10 kPa
<b>200</b>	94,86	96,03	96,89	97,30	97,65	98,09	98,41	98,49	98,76
<b>210</b>	92,59	94,41	95,70	96,32	97,09	97,71	98,09	98,29	98,62
<b>220</b>	89,60	92,09	93,61	94,47	96,22	96,75	97,48	98,18	98,16
<b>230</b>	85,96	88,94	91,04	91,61	94,04	95,65	96,20	97,31	97,99
<b>240</b>	81,94	88,43	87,74	88,34	93,95	93,26	94,63	97,32	97,19
<b>250</b>	77,91	85,04	83,92	84,88	91,42	90,07	92,30	96,42	95,62

Pada tabel IV.6, didapatkan hasil simulasi unit kolom distilasi vakum pada perubahan variabel tekanan kolom dalam kondisi operasi suhu *feed* dan *reflux ratio* tertentu. Dengan adanya perubahan tekanan pada kolom maka dapat dilihat data *%removal* kandungan *gas oil* dari campuran minyak pelumas bekas. Secara keseluruhan, dengan meningkatnya tekanan pada kolom maka *%removal* akan semakin besar. Kondisi operasi tekanan kolom menandakan bahwa semakin kecil maka kolom akan semakin vakum. Dari data pada tabel di atas terdapat beberapa data yang menunjukkan bahwa ada penurunan *%removal* dengan peningkatan tekanan kolom namun tidak signifikan. Dari semua tekanan kolom, yang terbaik adalah pada 10 kPa.

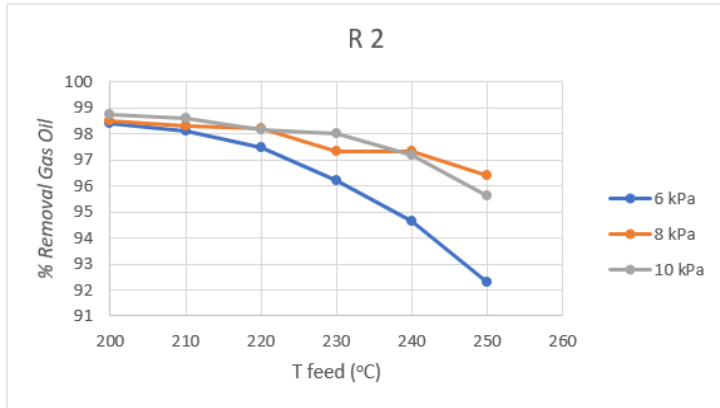




**Gambar IV.6** Grafik Tekanan Kolom terhadap %*Removal Gas Oil* pada Kondisi Operasi T dan R 1,1



**Gambar IV.7** Grafik Tekanan Kolom terhadap %*Removal Gas Oil* pada Kondisi Operasi T dan R 1,5



**Gambar IV.8** Grafik Tekanan Kolom terhadap %Removal Gas Oil pada Kondisi Operasi T dan R 2

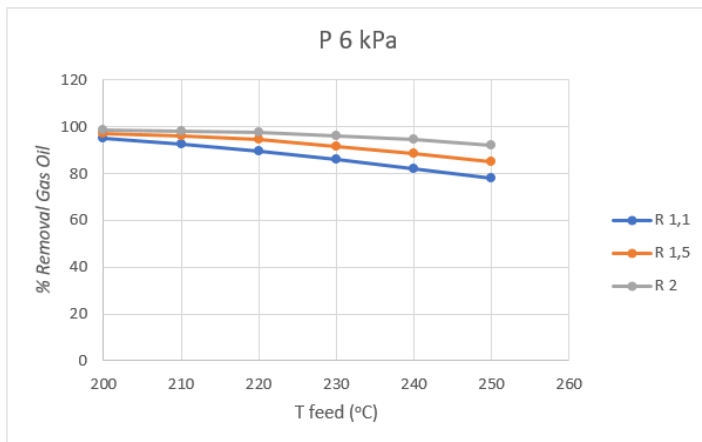
### IV.5.3 Variabel Reflux Ratio

**Tabel IV.9** Variabel *Reflux Ratio* pada Simulasi Unit Kolom Distilasi Vakum

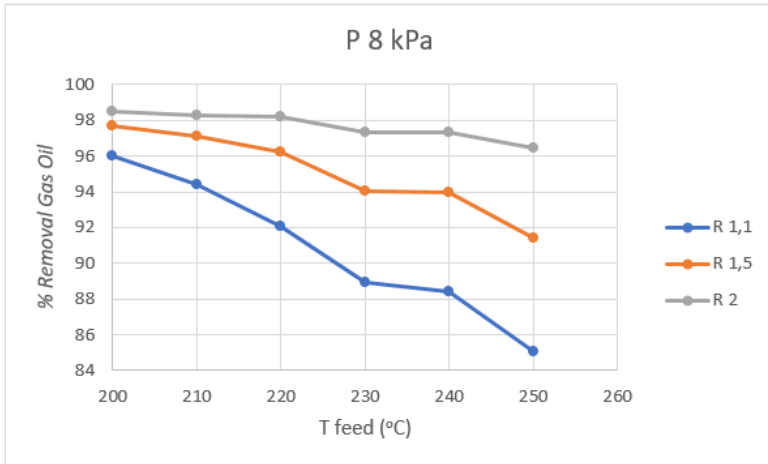
Suhu (°C)	6 kPa			8 kPa			10 kPa		
	R 1,1	R 1,5	R 2	R 1,1	R 1,5	R 2	R 1,1	R 1,5	R 2
200	94,86	97,30	98,41	96,03	97,65	98,49	96,89	98,09	98,76
210	92,59	96,32	98,09	94,41	97,09	98,29	95,70	97,71	98,62
220	89,60	94,47	97,48	92,09	96,22	98,18	93,61	96,75	98,16
230	85,96	91,61	96,20	88,94	94,04	97,31	91,04	95,65	97,99
240	81,94	88,34	94,63	88,43	93,95	97,32	87,74	93,26	97,19
250	77,91	84,88	92,30	85,04	91,42	96,42	83,92	90,07	95,62

Pada tabel IV.7 didapatkan hasil simulasi unit kolom distilasi vakum dengan perubahan variabel *reflux ratio* dalam kondisi operasi suhu *feed* dan tekanan kolom tertentu. Dengan adanya perubahan variabel *reflux ratio*, maka didapatkan %removal kandungan gas oil dari campuran minyak pelumas bekas. Secara keseluruhan, dengan adanya peningkatan *reflux ratio* maka %removal akan semakin besar. Variabel *reflux ratio* yang digunakan

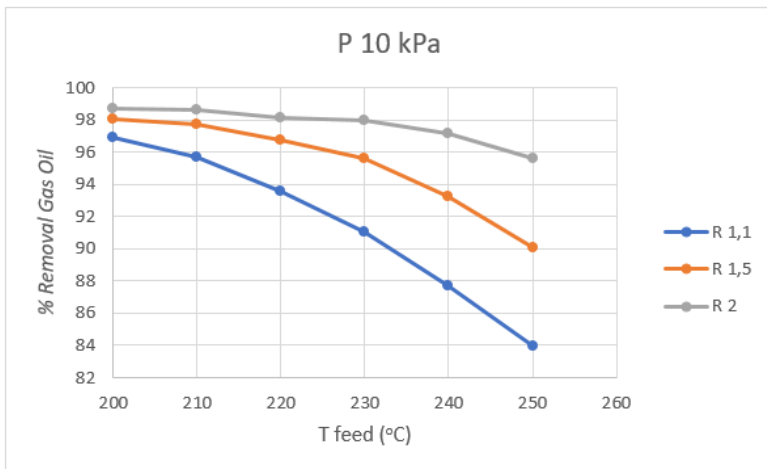
adalah perbandingan antara *reflux ratio* aktual dengan *reflux ratio* minimum.  $R_{\min}$  didapatkan pada saat melakukan simulasi dengan alat DSTWU pada Aspen PLUS. Dari  $R_{\min}$  tersebut kemudian divariasikan dengan nilai  $R/R_{\min}$  1,1, 1,5, dan 2. Dari semua  $R/R_{\min}$  yang ada, maka %*removal* paling besar didapatkan pada  $R/R_{\min}$  2.



**Gambar IV.9** Grafik *Reflux Ratio* terhadap %*Removal Gas Oil* pada Kondisi Operasi T dan P 6 kPa



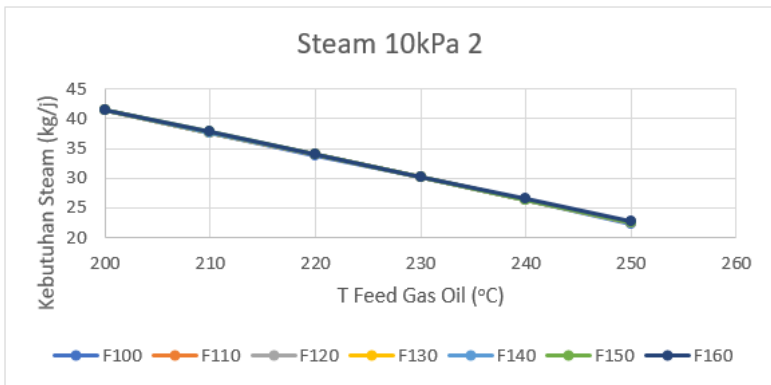
**Gambar IV.10** Grafik *Reflux Ratio* terhadap *%Removal Gas Oil* pada Kondis Operasi T dan P 8 kPa



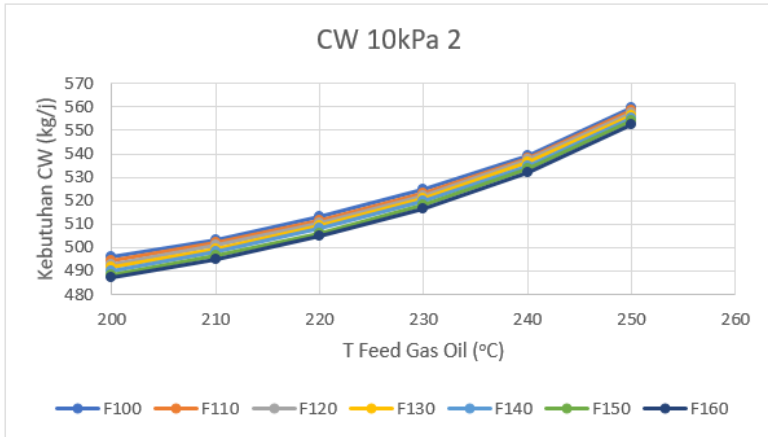
**Gambar IV.11** Grafik *Reflux Ratio* terhadap *%Removal Gas Oil* pada Kondis Operasi T dan P 10 kPa

#### IV.5.4 Kebutuhan *Steam* dan *Cooling Water*

Dalam simulasi unit kolom distilasi vakum, terdapat 2 unit pendukung yaitu *reboiler* dan *condenser*. *Reboiler* berfungsi sebagai pemanas campuran minyak pelumas bekas yang berada di *tray* paling bawah/produk bawah supaya jika terdapat sisa-sisa komponen yang belum teruapkan bisa teruapkan. Sedangkan *condenser* berfungsi sebagai pendingin produk atas dari kolom distilasi vakum dan mengubah produk atas dari fasa gas menjadi fasa cair. Kondisi operasi pada kolom distilasi vakum beragam variasi dari variabel yang ada, sehingga hal tersebut juga memengaruhi *reboiler* dan *condenser* yaitu pada kebutuhan *steam* dan *cooling water* yang digunakan.



**Gambar IV.12** Grafik T *Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Steam* pada Variabel Tekanan 10kPa R/R<sub>min</sub> 2



**Gambar IV.13** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Cooling Water* pada Variabel Tekanan 10kPa R/R<sub>min</sub> 2

Hasil dari simulasi kolom distilasi vakum dengan berbagai macam variasi dari variable yang ada ditunjukkan dengan gambar di atas. Gambar tersebut merupakan grafik *T Feed Gas Oil* dengan kebutuhan *steam* atau *cooling water*. Untuk grafik variabel yang lainnya dapat dilihat di lampiran.

Untuk kebutuhan *steam* pada *reboiler* kolom distilasi vakum dapat dibandingkan terhadap *T Feed Gas Oil*, tekanan kolom, dan R/R<sub>min</sub>. Untuk kebutuhan *steam* terhadap *T Feed Gas Oil*, dari grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi *T Feed Gas Oil* maka semakin rendah kebutuhan *steam* pada *reboiler*. Hal ini dikarenakan kondisi *feed* yang masuk pada kolom distilasi vakum semakin tinggi sehingga tidak membutuhkan *steam* terlalu besar untuk memanaskan kembali produk bawah dari kolom distilasi vakum.

Untuk kebutuhan *steam* terhadap tekanan kolom, dari grafik dapat dilihat bahwa semakin kecil tekanan kolom maka semakin sedikit *steam* yang dibutuhkan. Hal ini dikarenakan semakin kecil tekanan kolom maka kondisi kolom akan semakin vakum, sehingga tidak membutuhkan  $Q$  yang terlampau besar.

Untuk kebutuhan *cooling water* pada *condenser* kolom distilasi vakum dapat dibandingkan terhadap  $T_{Feed Gas Oil}$ , tekanan kolom, dan  $R/R_{min}$ . Untuk kebutuhan *cooling water* terhadap  $T_{Feed Gas Oil}$ , semakin tinggi  $T_{Feed Gas Oil}$  maka kebutuhan *cooling water* akan semakin banyak. Hal ini dikarenakan uap yang terbentuk dari kolom distilasi vakum memiliki suhu yang besar, sehingga untuk mendinginkan dan mengkondensasi menjadi cairan diperlukan *cooling water* dalam jumlah besar.

Untuk kebutuhan *cooling water* terhadap tekanan kolom, dari grafik dapat dilihat bahwa semakin rendah tekanan kolom maka semakin sedikit *cooling water* yang dibutuhkan. Hal ini dikarenakan bahwa pengaruh tekanan kolom yang semakin rendah dapat membuat titik didih komponen semakin rendah, sehingga untuk memanaskan campuran minyak pelumas bekas tidak memerlukan  $Q$  pada pemanasan yang terlampau tinggi. Maka, untuk mengkondensasikan uap yang terbentuk tidak akan membutuhkan *duty* yang semakin banyak karena pertukaran panas yang terjadi tidak terlampau besar seiring kondisi kolom yang semakin vakum.

Untuk perubahan nilai *reflux ratio* terhadap kebutuhan *steam* dan *cooling water* memiliki pengaruh yang sama. Dengan meningkatnya nilai  $R/R_{min}$ , maka meningkatkan nilai *reflux ratio*. Dengan meningkatnya nilai *reflux ratio*, maka kemurnian dari produk semakin

tinggi serta mengakibatkan bertambahnya *liquida*. Dengan bertambahnya kemurnian dan *liquida* yang terbentuk maka beban dari *reboiler* dan *condenser* akan semakin besar. Sehingga kebutuhan *steam* dan *cooling water* akan semakin meningkat.

#### **IV.6 Analisa Data Simulasi Overall**

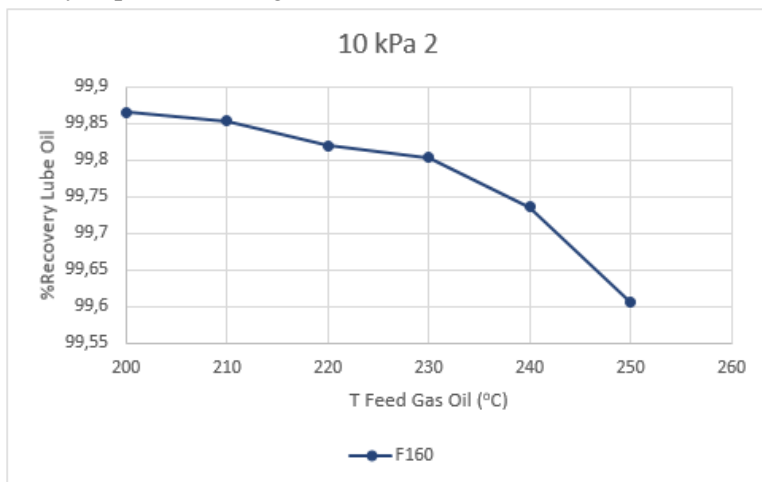
Berdasarkan simulasi proses *overall* terdapat beberapa hasil dari masing – masing unit proses. Pada unit penghilangan kandungan air dan *light ends* pada kolom *pre-flash drum* didapatkan hasil yakni pada variabel suhu pemanas 160 °C memiliki jumlah persentasi penghilangan kandungan air dan *light ends* terbanyak yakni sebesar 70,86 persen. Faktor yang menyebabkan penghilangan kandungan air pada minyak pelumas bekas tidak bisa mendekati 100 persen disebabkan masih terdapat kandungan air yang terlarut dalam campuran minyak pelumas bekas. Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan nilai fraksi uap komponen air untuk variabel pemanasan *feed* minyak pelumas bekas pada suhu 100 °C mendominasi jumlah fraksi uap pada kolom *pre-flash drum* dan fraksi uap air cenderung menurun seiring meningkatnya variabel pemanasan pada *feed*. Sehingga hasil tersebut sesuai dengan teori bahwa air mengalami perubahan fase menjadi uap pada suhu 100 °C dan kelarutan air pada campuran mempengaruhi nilai titik didih air.



**Tabel IV.10** Aliran Masuk dan Keluar Kolom *pre-flash drum* pada Suhu 160 °C

Komponen	F160 (kg/jam)		
	F	D	B
ISOBU-01	0,000	0,000	0,000
N-BUT-01	0,001	0,000	0,001
N-PEN-01	0,102	0,024	0,078
N-HEX-01	0,130	0,018	0,112
N-HEP-01	0,289	0,023	0,265
N-OCT-01	0,277	0,013	0,265
N-NON-01	0,413	0,011	0,402
WATER	0,246	0,174	0,072
DIBEN-01	0,452	0,000	0,451
CHRY-01	18,108	0,000	18,108
PC147C	0,581	0,015	0,566
PC156C	0,727	0,014	0,714
PC170C	0,772	0,010	0,761
PC184C	0,820	0,008	0,812
PC198C	0,877	0,006	0,871
PC211C	0,938	0,004	0,933
PC225C	1,010	0,003	1,007
PC239C	1,098	0,002	1,096
PC253C	1,230	0,002	1,228
PC267C	1,440	0,001	1,438
PC281C	1,709	0,001	1,708
PC295C	1,925	0,001	1,924
PC309C	2,075	0,000	2,075
PC323C	2,356	0,000	2,356
PC337C	2,652	0,000	2,651
PC350C	3,028	0,000	3,028
PC364C	3,543	0,000	3,543
PC378C	4,390	0,000	4,390
PC392C	7,203	0,000	7,203
PC407C	13,420	0,000	13,420
PC421C	27,697	0,000	27,697
PC440C	30,433	0,000	30,433
PC467C	14,823	0,000	14,823
PC495C	8,786	0,000	8,786
PC523C	6,798	0,000	6,798
PC552C	3,589	0,000	3,589
PC582C	19,064	0,000	19,064
Total	183,000	0,333	182,667

Proses selanjutnya yakni unit kolom distilasi vakum untuk menghilangkan senyawa *gas oil* dan kandungan air serta *light ends* yang masih tersisa. Berdasarkan hasil yang telah dibahas sebelumnya, kondisi operasi *pre-flash drum* pada suhu 160 °C yang paling efisien untuk dilanjutkan ke unit kolom distilasi vakum. Pada kolom distilasi vakum terdapat beberapa jenis variabel yakni suhu pemanasan *feed*, tekanan kolom, dan perbandingan antara *reflux ratio* aktual dengan *reflux ratio* minimum. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa persentasi kandungan *gas oil* paling banyak bisa dihilangkan pada variabel suhu pemanas *feed* sebesar 200 °C, tekanan kolom 10 kPa dan perbandingan antara *reflux ratio* aktual dua kali *reflux ratio* minimumnya yakni sebesar 98,76 persen. Hal tersebut juga berbanding lurus dengan hasil yang didapatkan pada jumlah *recovery* fraksi minyak pelumas yang ditunjukkan pada gambar IV.14, didapatkan hasil *recovery* fraksi minyak pelumas sebagai berikut.



**Gambar IV.14** *recovery* fraksi minyak pelumas bekas per variabel kolom distilasi vakum

Jumlah *recovery* fraksi minyak pelumas paling banyak didapatkan pada variabel yang sama yakni variabel suhu pemanas *feed* sebesar 200 °C, tekanan kolom 10 kPa dan perbandingan antara *reflux ratio* aktual dua kali *reflux ratio* minimumnya yakni sebesar 99,87 persen. Hal ini disebabkan pada pemanasan suhu 200 °C sebagian fraksi *gas oil* sudah menguap pada distilat. Seiring dengan kenaikan variabel suhu pemanasan pada tekanan 10 kPa dan perbandingan antara *reflux ratio* aktual dua kali *reflux ratio* minimumnya jumlah *recovery* minyak pelumas pada *bottom product* dan penghilangan kandungan *gas oil* cenderung menurun.

**Tabel IV.11** Aliran Masuk dan Keluar Kolom Distilasi Vakum pada Tekanan 10 kPa dan  $R/R_{\min}$  2 per Variabel Suhu Pemanas komponen *heavy key* dan *light key*.

Komponen	G200 (kg/jam)			G210 (kg/jam)		
	F	D	B	F	D	B
PC281C	1,709	1,566	0,143	1,709	1,546	0,163
PC295C	1,925	0,220	1,705	1,925	0,240	1,685
	G220 (kg/jam)			G230 (kg/jam)		
	F	D	B	F	D	B
PC281C	1,709	1,49	0,22	1,709	1,425	0,284
PC295C	1,925	0,296	1,63	1,925	0,359	1,566
	G240 (kg/jam)			G250 (kg/jam)		
	F	D	B	F	D	B
PC281C	1,709	1,328	0,381	1,709	1,133	0,575
PC295C	1,925	0,456	1,469	1,925	0,651	1,274

Apabila dilihat pada tabel IV.8 berikut terlihat bahwa kenaikan suhu *feed* kolom distilasi vakum berbanding terbalik dengan fraksi minyak pelumas yang semakin menurun, hal ini dikarenakan fraksi minyak pelumas ikut menguap pada distilat. Hal tersebut ditunjukkan dengan jumlah *heavy key* pada *bottom product* kolom distilasi vakum semakin menurun sedangkan pada distilat semakin meningkat.

**Tabel IV.12** Fraksi Uap Kolom Distilasi Vakum pada Tekanan 10 kPa dan  $R/R_{\min}$  2 per Variabel Suhu Pemanas komponen *heavy key* dan *light key*.

Komponen	G200		G210	
	D	B	D	B
PC281C	0,913	0,087	0,904	0,096
PC295C	0,092	0,908	0,1003	0,900
	G220		G230	
	D	B	D	B
PC281C	0,874	0,126	0,862	0,139
PC295C	0,124	0,876	0,135	0,865
	G240		G250	
	D	B	D	B
PC281C	0,808	0,192	0,717	0,283
PC295C	0,181	0,820	0,269	0,731

Hasil yang sama ditunjukkan dengan nilai fraksi uap pada kolom distilasi vakum. Kenaikan suhu pemanas berbanding terbalik dengan jumlah fraksi uap komponen *light key* pada distilat yang diwakili oleh *pseudocomponent* PC281C yang semakin menurun. Hal tersebut disebabkan fraksi minyak pelumas ikut teruap ditunjukkan oleh *pseudocomponent* PC295C yang merupakan komponen *heavy key* pada distilat.

Beberapa faktor lain yang menyebabkan fraksi minyak pelumas semakin menurun seiring dengan kenaikan perubahan suhu *feed* kolom distilasi vakum yakni kondisi operasi kolom distilasi vakum. Perbedaan suhu *feed* kolom distilasi vakum menyebabkan perbedaan kondisi operasi *reboiler* pada kolom distilasi vakum. Spesifikasi *steam* yang digunakan pada kolom distilasi vakum untuk berbagai variabel suhu *feed* sama yakni 330 °C dan tekanan 12862,5 kPa. Berikut merupakan kondisi operasi *reboiler* pada kolom distilasi vakum untuk berbagai macam variabel suhu *feed* kolom distilasi vakum.

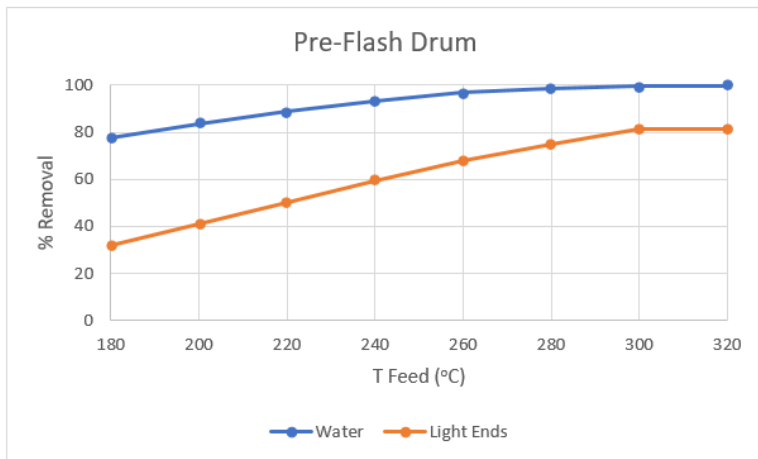
**Tabel IV.13** Kondisi Operasi *Reboiler* pada Kolom Distilasi Vakum untuk Berbagai Macam Variabel

Faktor	T Feed Gas Oil					
	200	210	220	230	240	250
<i>Feed Vapor Fraction</i>	0,0045	0,0058	0,0073	0,0090	0,0110	0,0133
<i>T Reboiler (C)</i>	297,62	297,62	297,54	297,51	297,38	297,09
<i>Duty Reboiler (kj/jam)</i>	47695	43435	39113	34791	30436	26049
<i>Steam Rate (kg/jam)</i>	41,47	37,77	34,01	30,25	26,46	22,65
<i>Boilup Rate (kmol/jam)</i>	0,34	0,31	0,27	0,24	0,20	0,17
<i>Boilup Ratio</i>	0,75	0,67	0,59	0,52	0,44	0,36

Berdasarkan tabel IV.13 diatas dapat dilihat bahwa panas yang digunakan *reboiler* untuk menguapkan kandungan *gas oil* pada kolom distilasi vakum mengalami penurunan seiring tingginya suhu *feed* yang masuk pada kolom distilasi vakum. Hal ini ditunjukkan pada variabel suhu *feed* yang dilakukan pemanasan pada suhu 200 °C membutuhkan panas tertinggi pada *reboiler* sebesar 47695 kJ/jam dengan *rate steam* yang digunakan yakni sebesar 41,47 kg/jam. Hal ini sesuai dengan pembahasan sebelumnya bahwa jumlah kandungan *gas oil* yang bisa dihilangkan paling banyak berada pada variabel tersebut.

#### **IV.7 Kondisi Optimum**

Berdasarkan beberapa hasil yang telah dibahas, masih terdapat hasil yang kurang maksimal baik dalam perancangan proses *pre-flash drum* maupun kolom distilasi vakum. Sehingga perlu dilakukan simulasi proses pada berbagai kemungkinan lain diluar variabel yang telah dilakukan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Proses yang pertama yakni pada penghilangan kandungan air dan *light ends*. Dalam proses penghilangan air dan *light ends*, didapatkan data *%removal* yang terus meningkat seiring dengan meningkatnya suhu *feed* kolom *pre-flash drum*. Kemudian dilakukan simulasi pada kolom *pre-flash drum* hingga didapatkan *%removal* mendekati 100%. Ditentukan beberapa variabel suhu *feed* kolom *pre-flash drum* yaitu 180 °C hingga 320 °C dengan interval 20 °C.



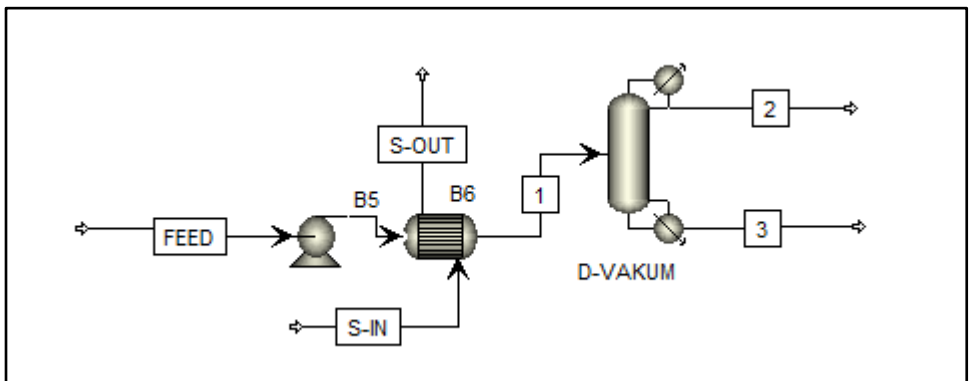
**Gambar IV.15** Hasil Simulasi Kolom *Pre-Flash Drum* pada suhu *feed* 180 °C – 320 °C

Dari data yang didapatkan di atas, pada suhu *feed* kolom *pre-flash drum* 320 °C didapatkan %*removal* air sebesar 99,73% dan %*removal* *light ends* sebesar 81,35 %. Untuk %*removal* air mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya suhu *feed* kolom *pre-flash drum*. Namun, peningkatannya relatif konstan hingga mencapai angka mendekati 100% pada suhu *feed* 320 °C.

Untuk memanaskan *feed* yang masuk ke kolom *pre-flash drum*, digunakan *heat exchanger* dengan aliran panas berupa *steam*. *Steam* yang digunakan yaitu *saturated steam*, terdapat dua macam yaitu *high pressure steam* (HP *steam*) dan *medium pressure steam* (MP *steam*). Untuk HP *steam* memiliki spesifikasi suhu *inlet* 330 °C dan tekanan 12862,5 kPa, sedangkan MP *steam* memiliki spesifikasi suhu *inlet* 175 °C dan tekanan 875,634 kPa. Untuk memanaskan *feed* diatas 175 °C, diperlukan HP *steam* supaya suhu *outlet* dari *feed* sesuai dengan yang diinginkan. Dengan menggunakan HP *steam* maka akan meningkatkan biaya yang digunakan untuk utilitas. Maka untuk kolom *pre-flash drum*

digunakan *feed* yang pemanasannya menggunakan MP *steam* yaitu 160 °C. Pemanasan *feed* pada suhu tersebut masih menyisakan kandungan air dan *light ends*, namun kandungan tersebut dapat dihilangkan seluruhnya pada proses penghilangan *gas oil* pada kolom distilasi vakum.

Pada proses penghilangan *gas oil* untuk unit kolom distilasi vakum didapatkan kondisi yakni penghilangan *gas oil* paling banyak pada suhu paling rendah sedangkan sisa kandungan air dan *light ends* yang masih ada juga ikut terhilangkan pada unit ini. Sehingga perlu dicoba kemungkinan variabel proses lain yakni penghilangan air, *light ends*, dan *gas oil* secara langsung pada satu kolom distilasi vakum.

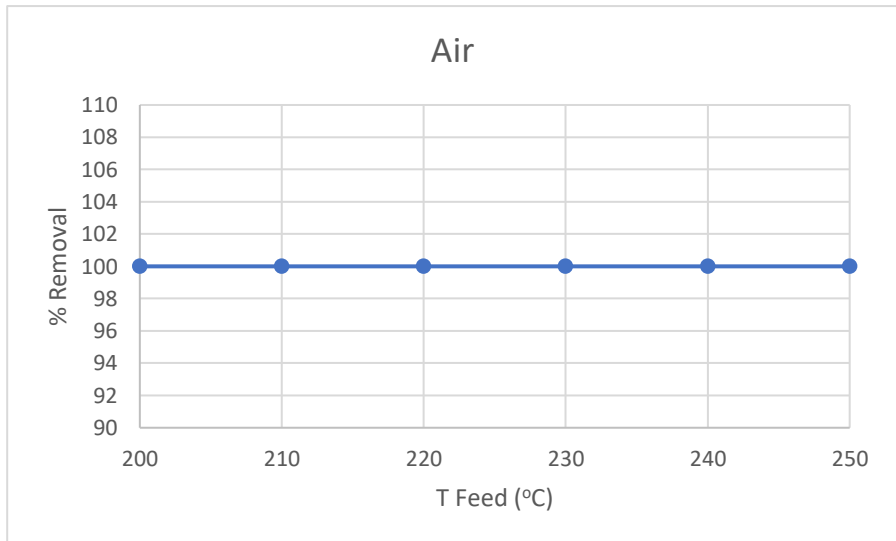


**Gambar IV.16** PFD pengolahan minyak pelumas bekas satu unit kolom distilasi vakum

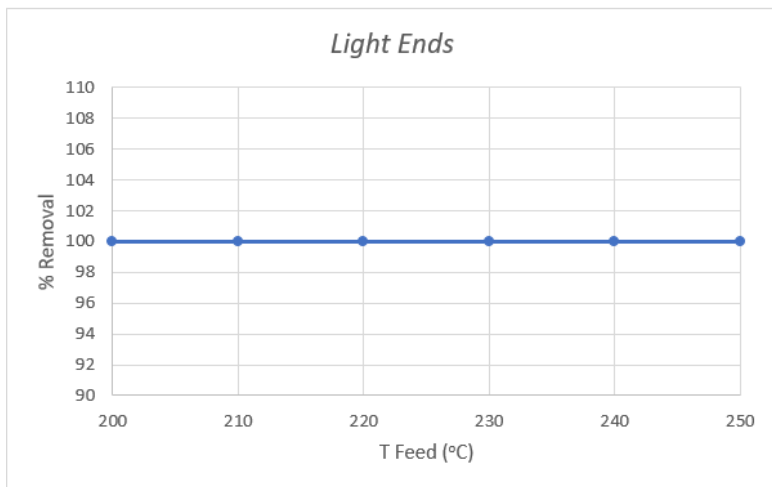
Apabila proses sebelumnya menggunakan *Mohawk Process* dalam melakukan sintesa proses penghilangan minyak pelumas bekas. Sehingga terdapat pertimbangan dalam segi ekonomis untuk pemanfaatan *by product* yang dihasilkan seperti air, *light ends* dan *gas oil* sesuai jumlah kuantitas yang dihasilkan. (Speight, 2014)



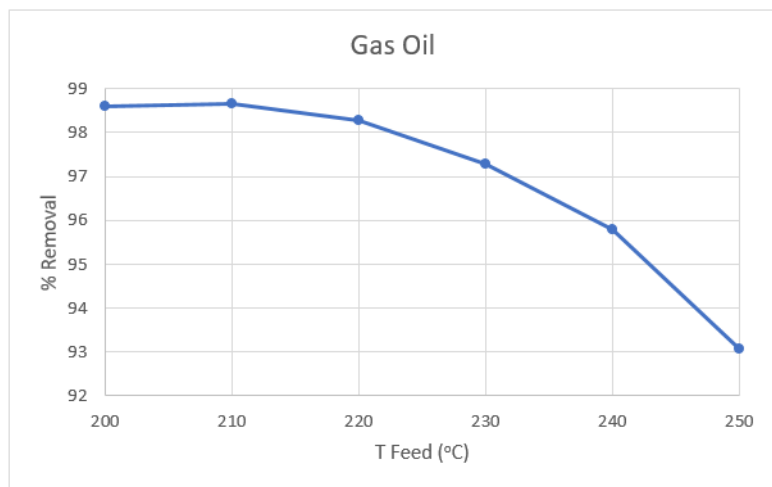
Berdasarkan simulasi proses penghilangan air, *light ends*, dan *gas oil* pada satu kolom distilasi vakum didapatkan data *%removal* untuk masing – masing kandungan *impurities* yang akan dihilangkan. Ditentukan variabel kolom distilasi yang digunakan yakni kondisi *feed* kolom pada suhu 200 °C hingga 250 °C dengan interval suhu 10 °C pada tekanan 10 kPa dan variabel perbandingan *reflux ratio minimum* dua kali *reflux ratio* aktualnya..



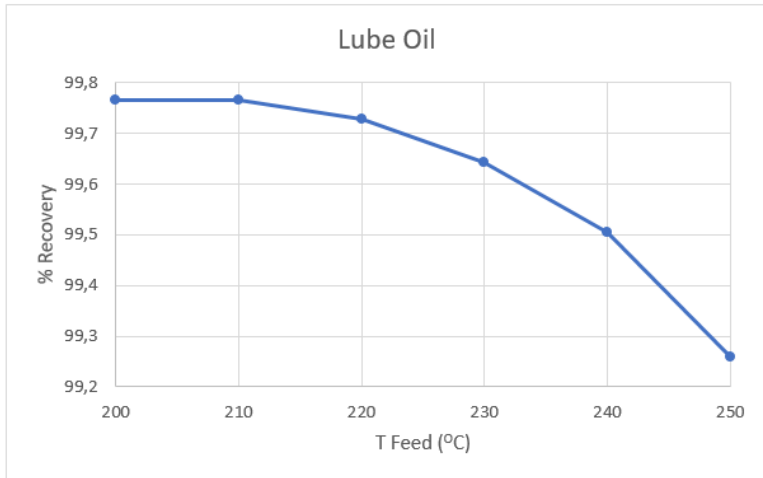
**Gambar IV.17** *%removal* kandungan air pada simulasi satu unit kolom distilasi vakum



**Gambar IV.18** %*removal* kandungan *light ends* pada simulasi satu unit kolom distilasi vakum

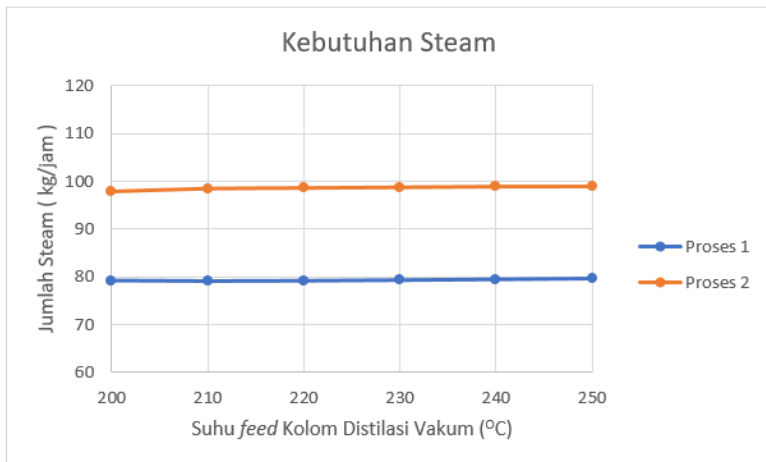


**Gambar IV.19** %*removal* kandungan *gas oil* pada simulasi satu unit kolom distilasi vakum



**Gambar IV.20** %*recovery* fraksi minyak pelumas pada simulasi satu unit kolom distilasi vakum.

Dari data yang didapatkan di atas, %*removal* air dan %*removal light ends* sebesar 100 % untuk berbagai variabel suhu *feed*. Sehingga sesuai pada simulasi proses yang pertama bahwa pada kolom distilasi vakum kandungan air dan *light ends* dapat dihilangkan seluruhnya. Untuk %*removal gas oil* memiliki kecenderungan hasil yang sama dengan simulasi sebelumnya yakni jumlah kandungan *gas oil* yang maksimal dapat dihilangkan berada pada variabel suhu *feed* kolom 200 °C termasuk jumlah *recovery lube oil* secara maksimal yang berhasil didapatkan.



**Gambar IV.21** Kebutuhan *Steam* Total 2 simulasi proses.

Sehingga analisa berdasarkan dua simulasi yang telah dilakukan terdapat beberapa faktor pertimbangan yang digunakan dalam menentukan kondisi optimum proses. Faktor pertama yakni *working cost* yang kaitannya dengan kebutuhan utilitas salah satunya yakni kebutuhan *steam* untuk overall proses. Apabila dilihat dari grafik IV.21 diatas dapat dihasilkan kebutuhan *steam* lebih besar pada proses simulasi yang kedua. Hal ini dikarenakan proses penghilangan kandungan air, *light ends* dan *gas oil* dilakukan secara langsung pada satu unit. Sehingga kondisi operasi kolom dibutuhkan kondisi yang maksimal. Faktor yang kedua yakni *by product* yang dihasilkan. Pada simulasi proses yang pertama dihasilkan kandungan air dan *light ends* terpisah dengan kandungan *gas oil*. Hal ini berbeda dengan simulasi kedua yang dihasilkan *by product* dengan kandungan air, *light ends* dan *gas oil* pada satu aliran. Sehingga ini menjadi pertimbangan dalam proses selanjutnya mengenai kebutuhan untuk mengolah lebih lanjut *by product* yang dihasilkan dari dua proses yang telah dilakukan. Berdasarkan pertimbangan tersebut dan hasil simulasi yang dihasilkan, apabila nilai *by product* lebih tinggi untuk

dimanfaatkan kembali. Proses pemisahan air dan *light ends* dapat dilakukan setelah proses pemurnian minyak pelumas bekas pada kolom distilasi vakum, untuk mengolah *by product* dengan cara memisahkan kandungan *gas oil* dengan air dan *light ends* untuk dimanfaatkan kembali. Selain itu faktor lain yang mempengaruhi juga *fix cost* dalam pembuatan unit proses, terdapat kemungkinan untuk melakukan efisiensi alat apabila cukup dibutuhkan satu unit pengolahan proses dalam memurnikan minyak pelumas bekas.

# BAB V

## KESIMPULAN DAN SARAN

### V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Didapatkan hasil pada unit *pre-flash drum* sebagai berikut:
  - a. Terjadi peningkatan jumlah air dan *light ends* yang terpisah seiring dengan peningkatan variabel suhu.
  - b. Jumlah air dan *light ends* yang bisa dihilangkan paling banyak terdapat pada variabel suhu paling tinggi yakni sebesar 70,86 % dan 23,77 % pada suhu 160 °C.
  - c. Kebutuhan steam meningkat seiring dengan peningkatan suhu feed *pre-flash drum*.
  - d. Kondisi optimum kandungan air dan *light ends* dapat dihilangkan dengan *pre-flash drum* yakni pada suhu 320 °C dengan %removal air sebesar 99,73% dan %removal *light ends* sebesar 81,35 %.
2. Didapatkan kecenderungan pada variabel unit kolom distilasi vakum sebagai berikut:
  - a. Terjadi penurunan jumlah persentasi *gas oil* yang terpisah seiring dengan peningkatan variabel suhu feed, penurunan jumlah tekanan, dan perbandingan  $R/R_{min}$ .
  - b. Jumlah persen penghilangan *gas oil* yang paling maksimal didapatkan untuk variabel suhu 200 °C pada kondisi tekanan 10 Kpa dan perbandingan *reflux ratio* aktualnya dua kali dari *reflux ratio* minimumnya sebesar 98,76 persen.
  - c. Jumlah persen *recovery* minyak pelumas yang paling maksimal didapatkan untuk variabel suhu 200 °C pada kondisi tekanan 10 Kpa dan

- perbandingan *reflux ratio* aktualnya dua kali dari *reflux ratio* minimumnya sebesar 99,87 persen.
- d. Kebutuhan utilitas semakin tinggi seiring dengan peningkatan kemurnian *recovery* minyak pelumas dan penghilangan fraksi *gas oil* untuk *steam* pada *reboiler* dan *cooling water* pada *condenser*.
  - e. Kondisi optimum proses kolom distilasi vakum tanpa *pre-flash drum* didapatkan penghilangan air dan *light ends* sebesar 100% pada berbagai variabel suhu *feed*. Sedangkan penghilangan *gas oil* pada variabel suhu *feed* 200 °C sebesar 98,61 %.
  - f. Kebutuhan *steam* total pada simulasi proses dengan *pre-flash drum* lebih sedikit dibandingkan dengan simulasi proses tanpa *pre-flash drum* dalam menghilangkan kandungan air, *light ends*, dan *gas oil*.

## V.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini ke depannya adalah :

1. Melakukan perhitungan analisa ekonomi untuk masing – masing jenis proses.
2. Melakukan penelitian perbandingan jenis kolom distilasi dan melakukan spesifikasi detail kolom.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brooks, B. A. 1993. *Modeling of A Distillation Column Using Bond Graphs*. Arizona: The University of Arizona
- Chen and Mathias. 2002. *Applied Thermodynamics for Process Modeling*. AIChE Journal, Vol.48, No.2.
- Taifan, G. dan Putra, D. Simulasi Pemisahan Minyak Pelumas Bekas Menjadi Minyak Pelumas Mentah. 2016. Departement Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Komariah, L. N., Ramdja, A.F., dan Leonard, N. 2009. Tinjauan Teoritis Perancangan Kolom Distilasi untuk Pra-Rencana Pabrik Skala Industri. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Luyben, W. L. 2006. *Distillation Design and Control Using ASPEN Simulation*. New Jersey : John Wiley & Sons.
- Lynch, T. R. 2008. *Process Chemistry of Lubricant Base Stocks*. Boca Raton : CRC Press..
- Mang, T. 2014. *Encyclopedia of Lubricants and Lubrication*. New York : Springer Reference.
- More, R.K., Bulasara, V.K., Uppaluri, R., Banjara, V. R. 2009. *Optimization of Crude Distillation System Using Aspen Plus: Effect of Binary Feed Selection on Grass-root Design*. India : Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Guwahati.
- Republik Indonesia. 1999. Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Tahun 1999, No. 18. Presiden Republik Indonesia. Jakarta.
- Seader, J.D. 2006. *Separation Process Second Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons.

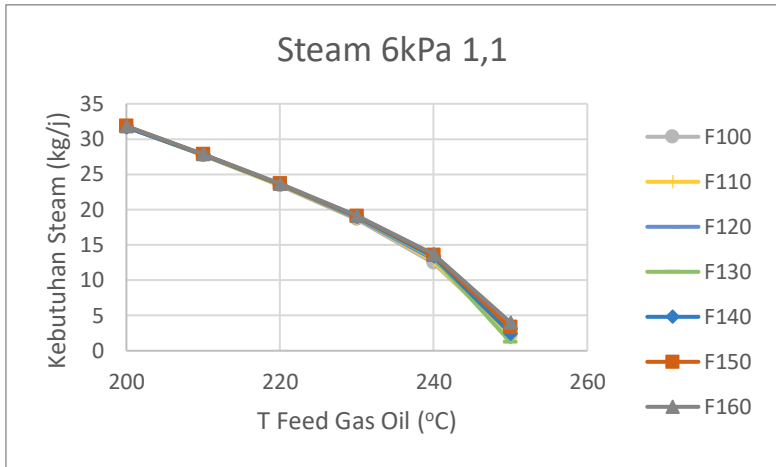


- Speight, J. G. 2014. *Refining Used Lubricating Oils*. Boca Raton : CRC Press.
- Tham, M.T. 2006. *Distillation Column Design*. UK: R.C. Costello and Associates, Inc
- Treybal, R. E. 1981. *Mass Transfer Operations Third Edition*. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc

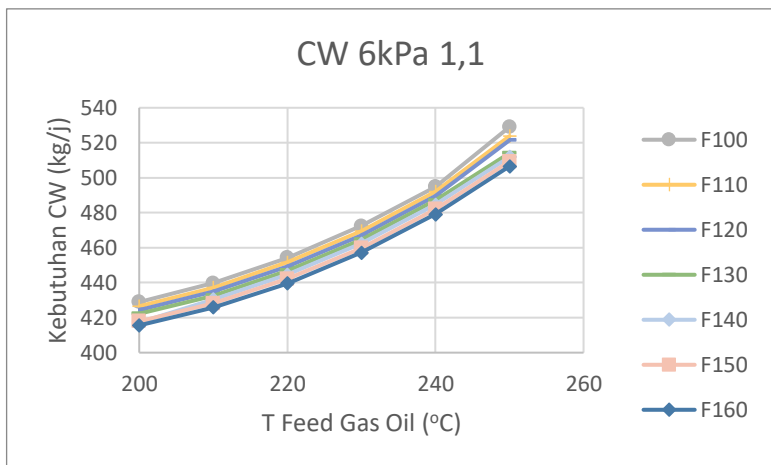
## DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan
F	<i>Feed</i>
D	Distilat
B	<i>Bottom</i>
P	Tekanan
T	Temperatur
PC	<i>Pseudocomponent</i>
R	<i>Reflux Ratio</i> Aktual
$R_{\min}$	<i>Reflux Ratio</i> Minimal

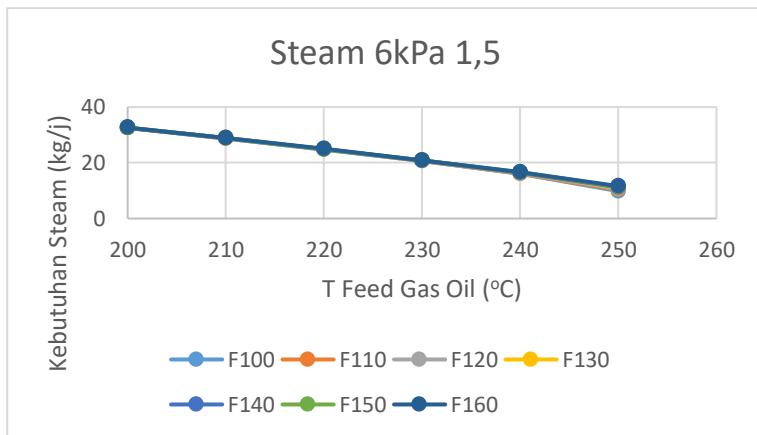
## APPENDIKS



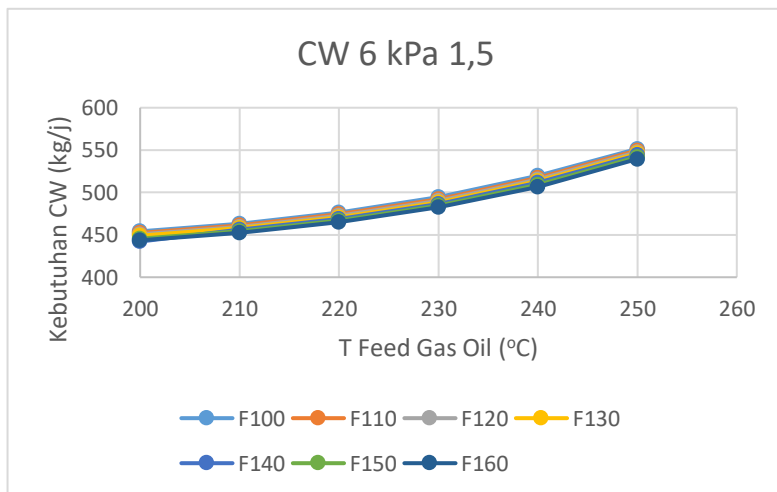
**Gambar 1** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Steam* pada Variabel Tekanan 6kPa R/R<sub>min</sub> 1,1



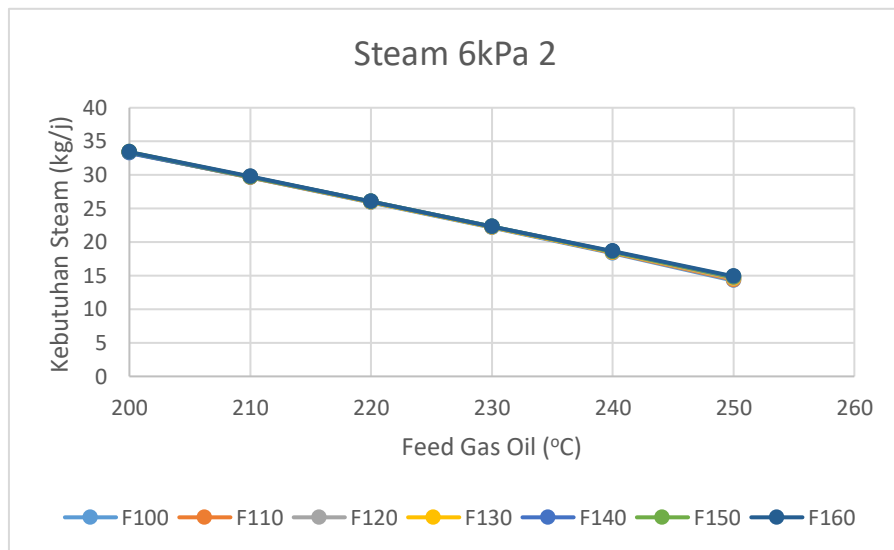
**Gambar 2** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Cooling Water* pada Variabel Tekanan 6kPa R/R<sub>min</sub> 1,1



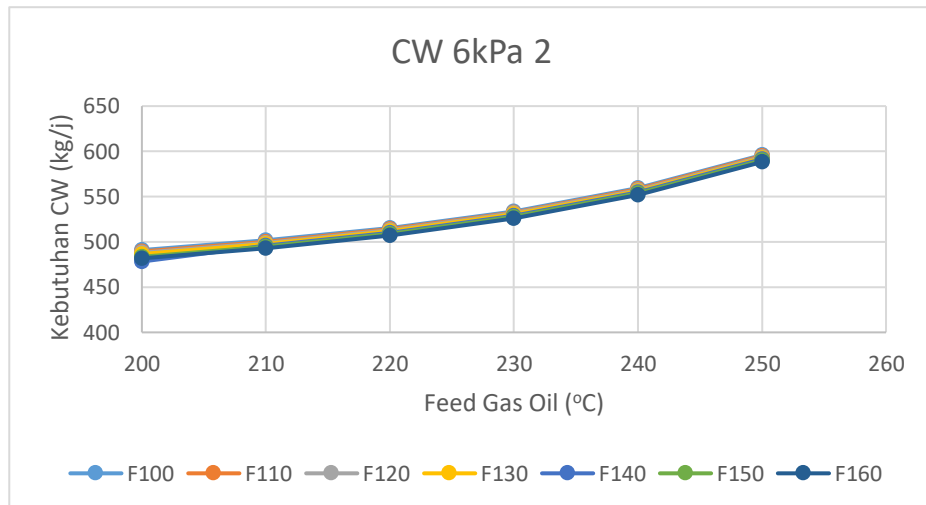
**Gambar 3** Grafik T *Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Steam* pada Variabel Tekanan 6kPa R/R<sub>min</sub> 1,5



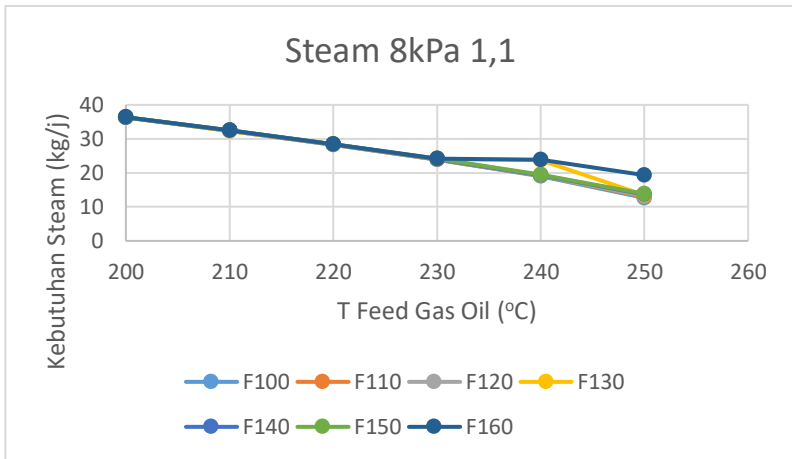
**Gambar 4** Grafik T *Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Cooling Water* pada Variabel Tekanan 6kPa R/R<sub>min</sub> 1,5



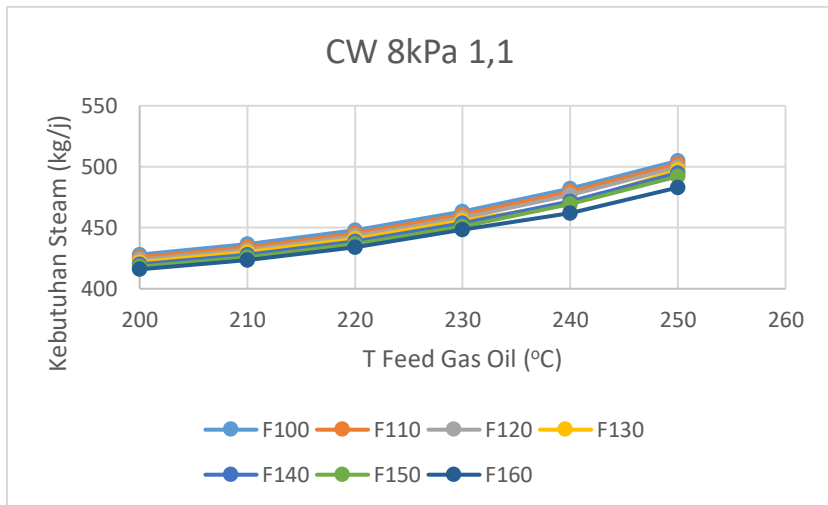
**Gambar 5** Grafik T *Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Steam* pada Variabel Tekanan 6kPa R/R<sub>min</sub> 2



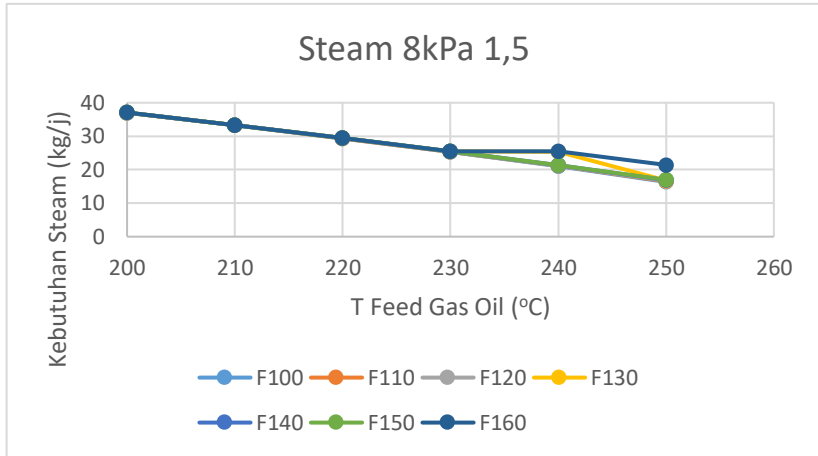
**Gambar 6** Grafik T *Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Cooling Water* pada Variabel Tekanan 6kPa R/R<sub>min</sub> 2



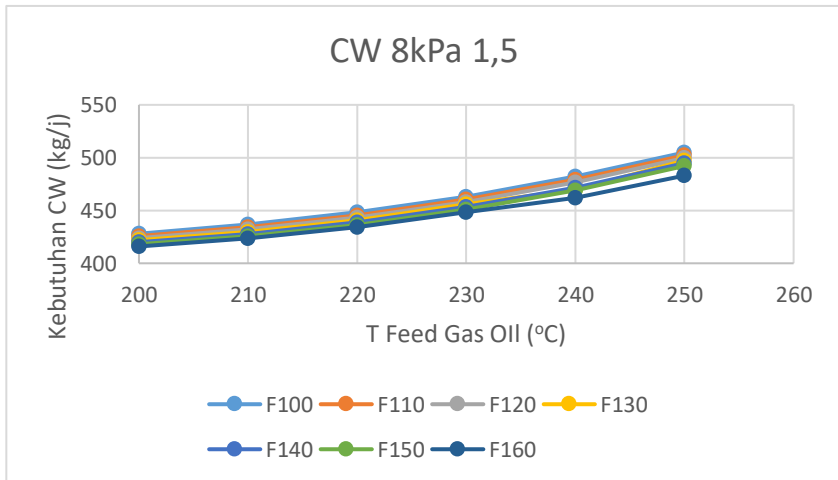
**Gambar 7** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Steam* pada Variabel Tekanan 8kPa R/R<sub>min</sub> 1,1



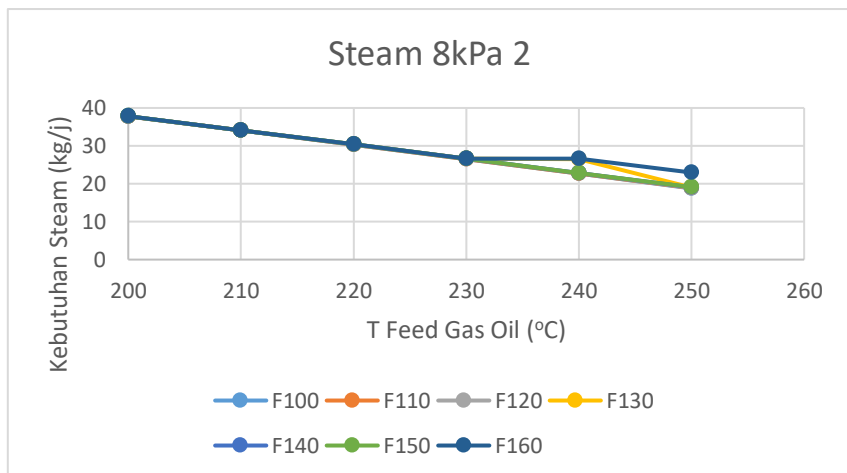
**Gambar 8** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Cooling Water* pada Variabel Tekanan 8kPa R/R<sub>min</sub> 1,1



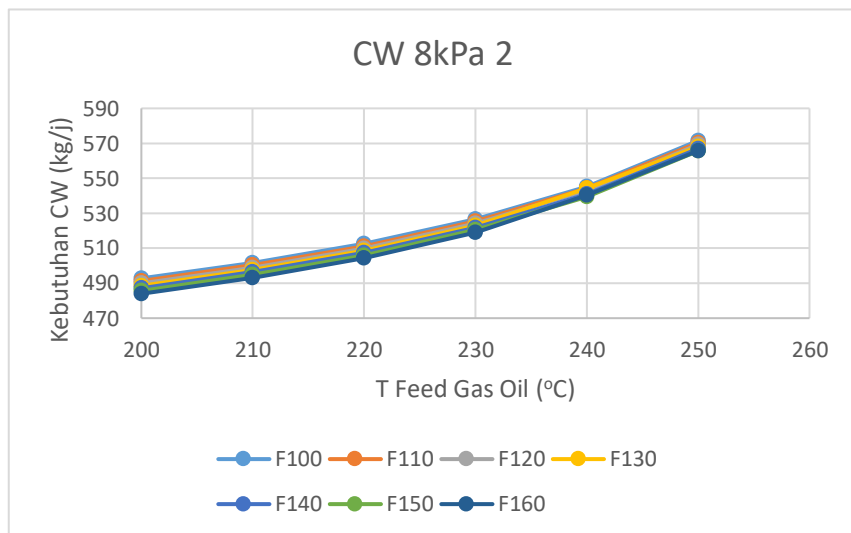
**Gambar 9** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Steam* pada Variabel Tekanan 8kPa R/R<sub>min</sub> 1,5



**Gambar 10** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Cooling Water* pada Variabel Tekanan 8kPa R/R<sub>min</sub> 1,5

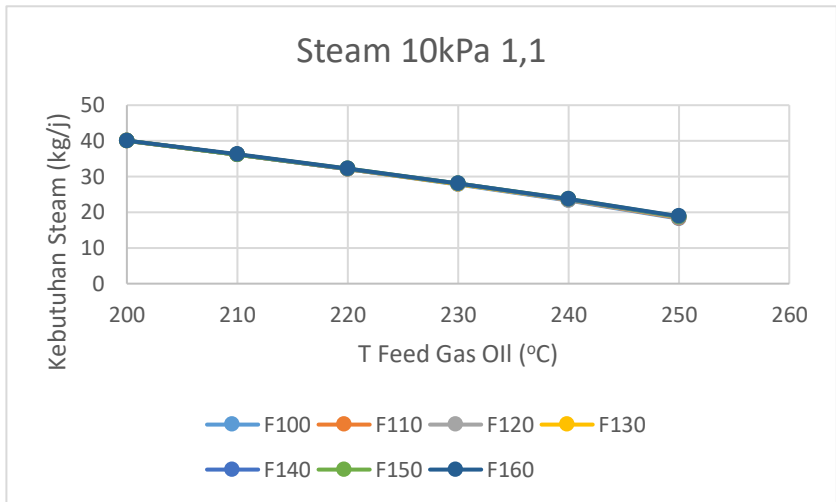


**Gambar 11** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Steam* pada Variabel Tekanan 8kPa R/R<sub>min</sub> 2

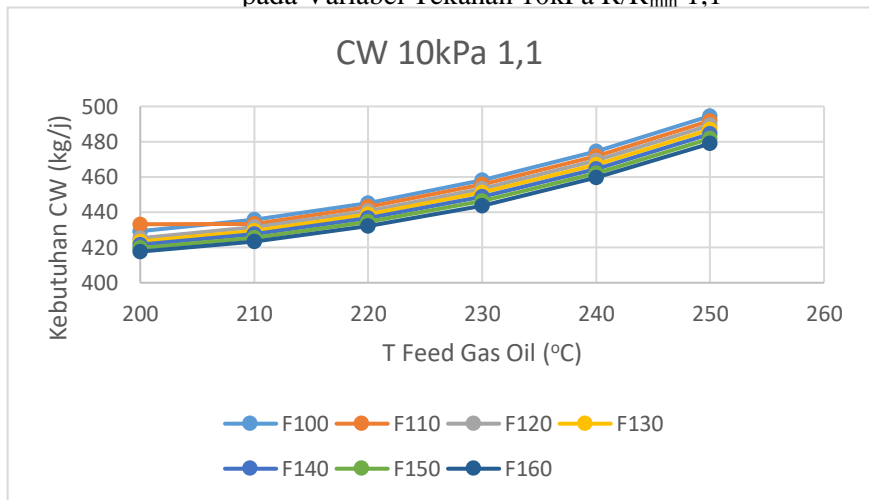


**Gambar 12** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Cooling Water* pada Variabel Tekanan 8kPa R/R<sub>min</sub> 2

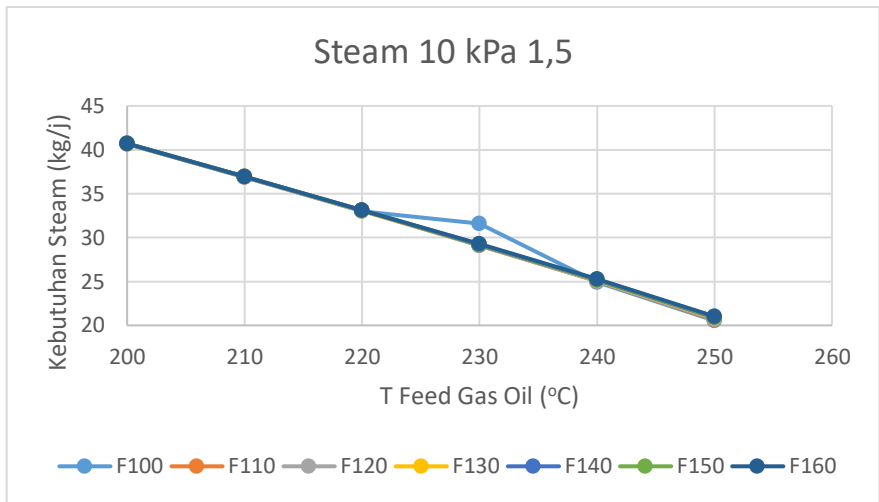




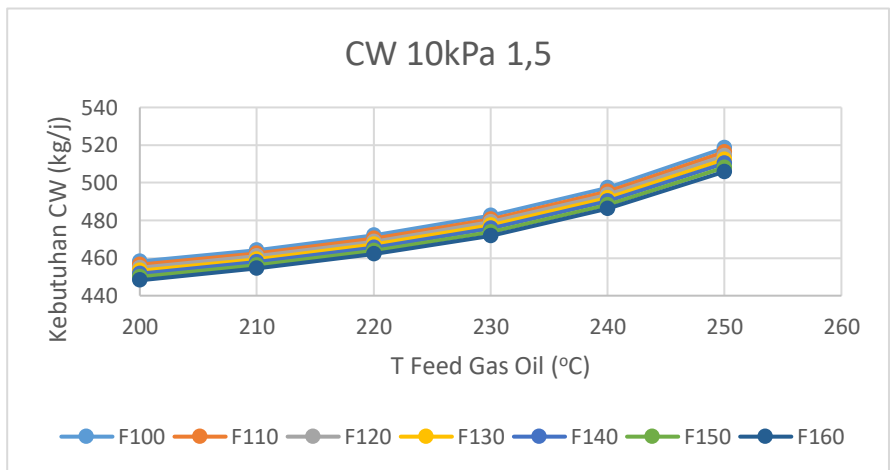
**Gambar 13** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Steam* pada Variabel Tekanan 10kPa  $R/R_{min}$  1,1



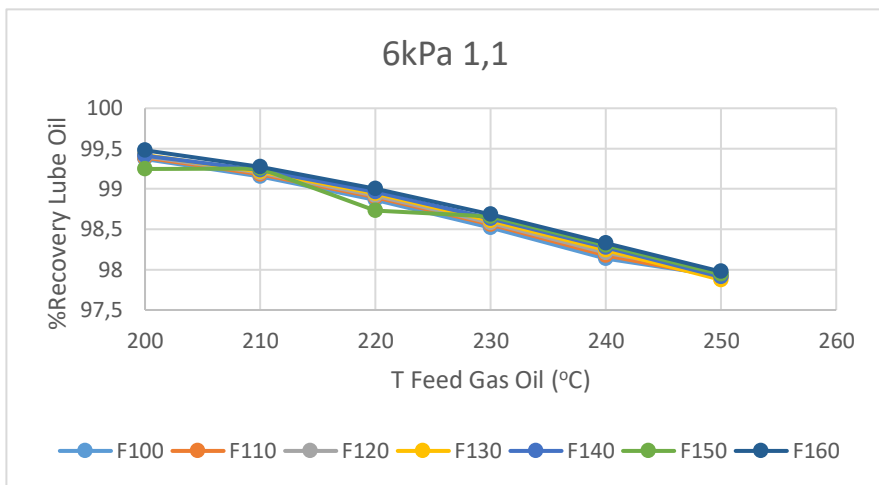
**Gambar 14** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Cooling Water* pada Variabel Tekanan 10kPa  $R/R_{min}$  1,1



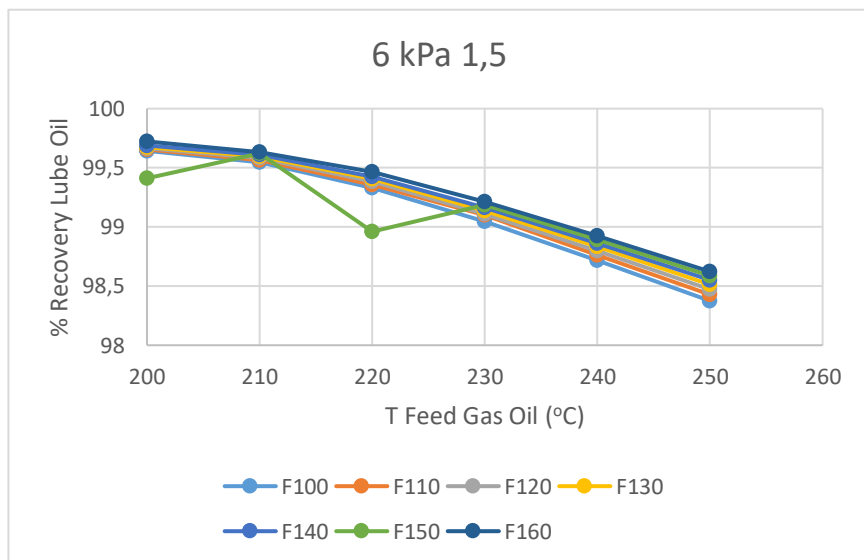
**Gambar 15** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Steam* pada Variabel Tekanan 10kPa  $R/R_{\min}$  1,5



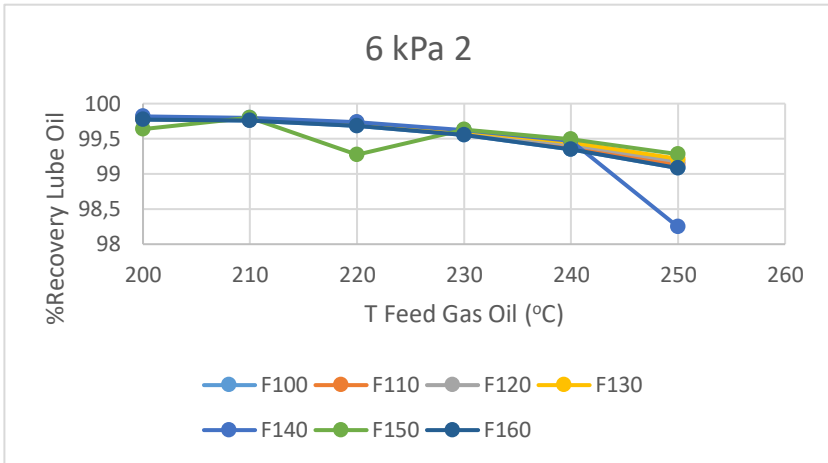
**Gambar 16** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap Kebutuhan *Cooling Water* pada Variabel Tekanan 10kPa  $R/R_{\min}$  1,5



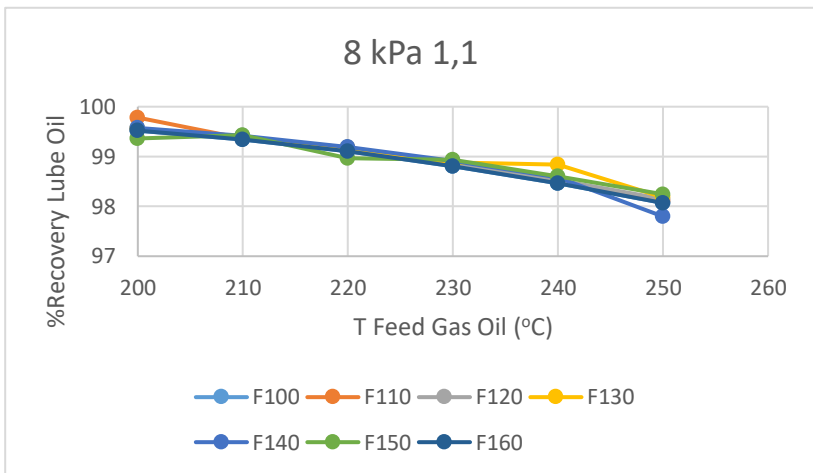
**Gambar 17** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap *%Recovery Lube Oil* pada Variabel Tekanan 6kPa  $R/R_{\min}$  1,1



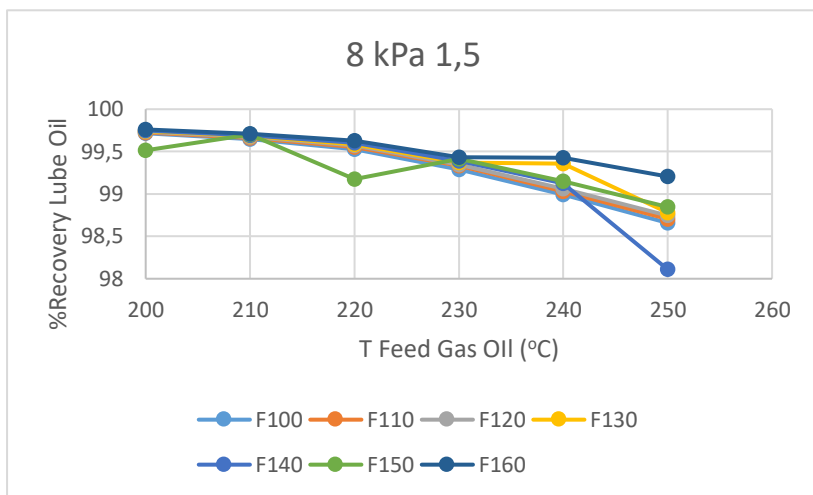
**Gambar 18** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap *%Recovery Lube Oil* pada Variabel Tekanan 6kPa  $R/R_{\min}$  1,5



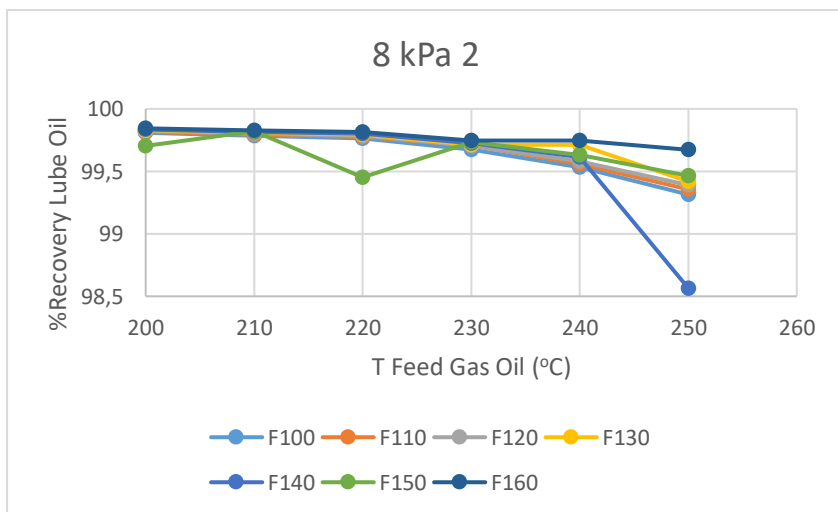
**Gambar 19** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap *%Recovery Lube Oil* pada Variabel Tekanan 6kPa R/R<sub>min</sub> 2



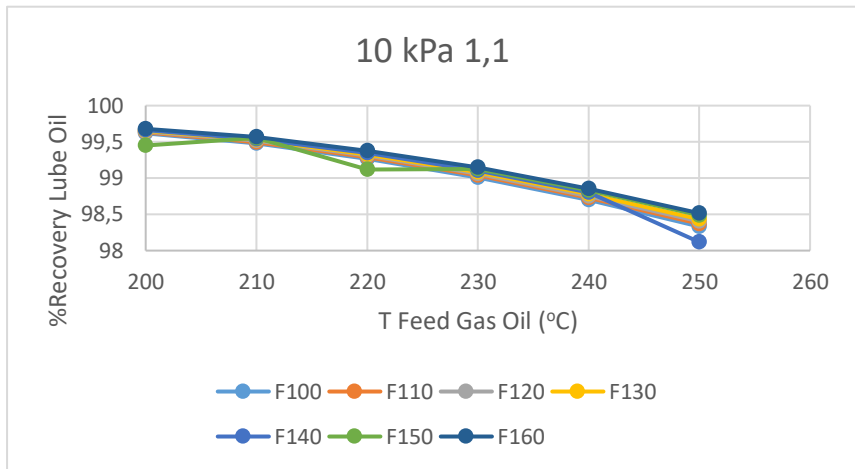
**Gambar 20** Grafik *T Feed Gas Oil* terhadap *%Recovery Lube Oil* pada Variabel Tekanan 8kPa R/R<sub>min</sub> 1,1



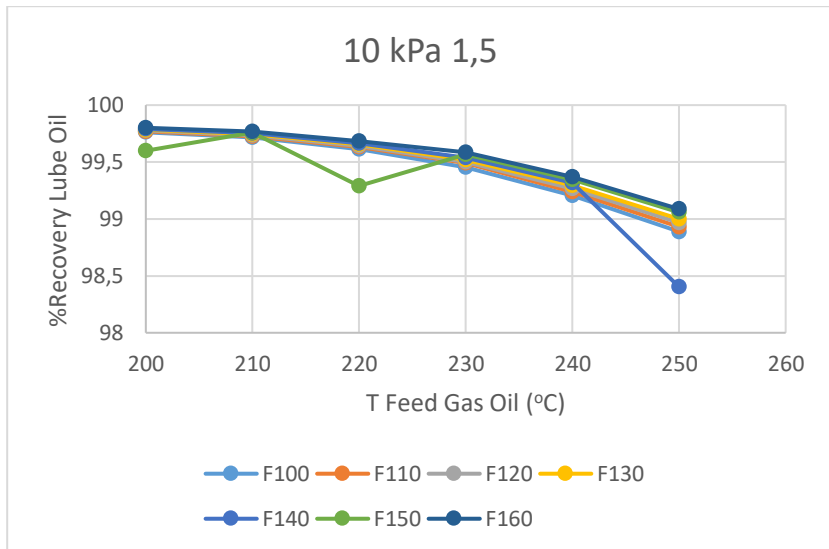
**Gambar 21** Grafik T *Feed Gas Oil* terhadap %*Recovery Lube Oil* pada Variabel Tekanan 8kPa R/R<sub>min</sub> 1,5



**Gambar 22** Grafik T *Feed Gas Oil* terhadap %*Recovery Lube Oil* pada Variabel Tekanan 8kPa R/R<sub>min</sub> 2



**Gambar 23** Grafik T *Feed Gas Oil* terhadap %*Recovery Lube Oil* pada Variabel Tekanan 10kPa R/R<sub>min</sub> 1,1



**Gambar 24** Grafik T *Feed Gas Oil* terhadap %*Recovery Lube Oil* pada Variabel Tekanan 10kPa R/R<sub>min</sub> 1,5

**Tabel 1** %Removal gas oil tekanan 6 Kpa dan  $R/R_{\min}$  1,1

Temperatur	% Removal Gas Oil						
200 °C	94,19	94,28	94,36	94,43	94,19	91,92	94,86
210 °C	91,90	92,03	92,14	92,25	92,36	92,47	92,59
220 °C	88,67	88,86	89,02	89,17	89,32	86,15	89,60
230 °C	84,81	85,07	85,23	85,42	85,60	85,78	85,96
240 °C	80,48	80,79	81,07	81,31	81,52	81,74	81,95
250 °C	77,98	77,72	78,04	77,16	77,43	77,67	77,91

**Tabel 2** %Removal gas oil tekanan 6 Kpa dan  $R/R_{\min}$  1,5

Temperatur	% removal gas oil						
200 °C	96,87	96,90	96,92	96,94	96,96	93,61	97,30
210 °C	95,89	95,99	96,07	96,14	96,21	96,27	96,33
220 °C	93,55	93,74	93,90	94,06	94,20	88,58	94,47
230 °C	90,36	90,85	90,83	91,03	91,23	91,42	91,61
240 °C	86,66	87,02	87,33	87,60	87,85	88,10	88,34
250 °C	82,80	83,26	83,63	83,97	84,30	84,59	84,88

**Tabel 3** %Removal gas oil tekanan 6 Kpa dan  $R/R_{\min}$  2

Temperatur	% removal gas oil						
200 °C	98,11	98,11	98,12	98,12	98,24	95,95	98,41
210 °C	98,00	98,02	98,04	98,05	98,06	98,07	98,09
220 °C	97,22	97,28	97,33	97,37	97,41	91,90	97,48
230 °C	95,75	96,18	95,85	95,95	96,04	96,12	96,20
240 °C	93,42	93,71	93,94	94,14	94,31	94,48	94,63
250 °C	90,36	90,80	91,16	91,49	80,29	92,05	92,30

**Tabel 4** %Removal gas oil tekanan 8 Kpa dan  $R/R_{\min}$  1,1

Temperatur	% removal gas oil						
200 °C	95,73	98,11	95,84	95,89	95,93	93,11	96,03
210 °C	93,85	93,96	94,05	94,14	94,23	94,32	94,41
220 °C	91,32	91,47	91,60	91,72	91,84	88,75	92,09
230 °C	87,93	88,14	88,30	88,47	88,63	88,78	88,94
240 °C	84,02	84,27	84,49	87,90	84,88	85,06	88,43
250 °C	79,64	79,98	80,28	80,54	75,61	81,01	85,04

**Tabel 5** %Removal gas oil tekanan 8 Kpa dan  $R/R_{\min}$  1,5

Temperatur	% removal gas oil						
200 °C	97,63	97,63	97,64	97,64	97,64	94,71	97,65
210 °C	96,92	96,96	96,99	97,01	97,04	97,06	97,09
220 °C	95,67	95,79	95,90	95,99	96,07	90,90	96,22
230 °C	93,02	93,40	93,42	93,58	93,74	93,89	94,05
240 °C	89,73	90,02	90,28	93,44	90,72	90,93	93,95
250 °C	85,94	86,33	86,66	86,96	78,96	87,49	91,42

**Tabel 6** %Removal gas oil tekanan 8 Kpa dan  $R/R_{\min}$  2

Temperatur	% removal gas oil						
200 °C	98,52	98,51	98,51	98,50	98,50	96,60	98,49
210 °C	98,27	98,28	98,28	98,28	98,28	98,28	98,29
220 °C	98,08	98,10	98,12	98,14	98,16	93,85	98,18
230 °C	96,99	97,30	97,13	97,18	97,23	97,27	97,31
240 °C	95,42	95,58	95,72	97,18	95,94	96,04	97,32
250 °C	92,95	93,28	93,56	93,79	83,85	94,12	96,42



**Tabel 7 %Removal gas oil tekanan 10 Kpa dan  $R/R_{\min}$  1,1**

<b>Temperatur</b>	<b>% removal gas oil</b>						
<b>200 °C</b>	96,73	96,76	96,79	96,81	96,84	94,01	96,89
<b>210 °C</b>	95,28	95,36	95,43	95,50	95,57	95,64	95,70
<b>220 °C</b>	92,94	93,07	93,19	93,29	93,40	90,32	93,61
<b>230 °C</b>	90,13	90,31	90,45	90,59	90,72	90,91	91,05
<b>240 °C</b>	86,63	86,84	87,04	87,22	87,39	87,57	87,74
<b>250 °C</b>	82,55	82,84	83,10	83,33	79,12	83,72	83,92

**Tabel 8 %Removal gas oil tekanan 10 Kpa dan  $R/R_{\min}$  1,5**

<b>Temperatur</b>	<b>% removal gas oil</b>						
<b>200 °C</b>	98,12	98,11	98,11	98,10	98,10	95,59	98,10
<b>210 °C</b>	97,65	97,66	97,67	97,68	97,69	97,70	97,71
<b>220 °C</b>	96,50	96,56	96,60	96,65	96,68	92,17	96,75
<b>230 °C</b>	94,75	95,04	95,04	95,16	95,27	95,55	95,65
<b>240 °C</b>	92,03	92,28	92,51	92,71	92,89	93,08	93,26
<b>250 °C</b>	88,50	88,83	89,13	89,39	82,19	89,84	90,07

**Tabel 9** %Removal gas oil tekanan 10 Kpa dan  $R/R_{\min}$  2

Temperatur	% removal gas oil						
200 °C	98,81	98,80	98,79	98,78	98,77	97,18	98,76
210 °C	98,64	98,64	98,63	98,63	98,62	98,62	98,62
220 °C	98,12	98,13	98,13	98,14	98,15	94,87	98,16
230 °C	97,57	97,74	97,64	97,67	97,69	97,97	97,99
240 °C	96,73	96,84	96,92	97,00	97,07	97,13	97,19
250 °C	94,80	95,02	95,20	95,35	86,42	95,50	95,62

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Rizki Kurnia Mahardika ini lahir di Malang pada 19 Agustus 1995. Penulis merupakan anak sulung dari tiga bersaudara. Pendidikan formal terakhir yang ditempuh penulis adalah pendidikan menengah di SMA Negeri 3 Malang pada 2010 hingga 2013. Pada tahun 2013 penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan S1 Teknik Kimia FTI ITS melalui jalur undangan (SNMPTN). Semasa kuliah, penulis aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa antara

lain Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEKK) FTI-ITS, UKM Bola Basket ITS, dan sempat menjadi asisten Lab Aplikasi Teknik Kimia II pada semester 8. Selain itu, Penulis melakukan kerja praktik di PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang, salah satu perusahaan pupuk terbesar di Indonesia. Penulis bersama rekan memilih bidang penelitian di Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses dengan judul Tugas Akhir “Perancangan Proses Distilasi Atmosferik dan Penghilangan *Gas Oil* dalam Pengolahan Minyak Pelumas Bekas”. Kritik dan saran yang membangun dapat dikirimkan ke alamat email penulis [rizkiikm@gmail.com](mailto:rizkiikm@gmail.com).

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Achmad Zulfikar Fawzi ini lahir di Tuban pada 25 Januari 1995. Penulis merupakan anak sulung dari tiga bersaudara. Pendidikan formal terakhir yang ditempuh penulis adalah pendidikan menengah di SMA Negeri 1 Gresik pada 2010 hingga 2013. Pada tahun 2013 penulis diterima sebagai mahasiswa di Jurusan S1 Teknik Kimia FTI ITS melalui jalur undangan (SNMPTN). Semasa kuliah, penulis aktif dalam kegiatan organisasi

mahasiswa antara lain Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEKK) FTI-ITS, BEM ITS, dan UKM Lembaga Pers Mahasiswa Satu Kosong. Selain itu, Penulis melakukan kerja praktik di PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang, salah satu perusahaan pupuk terbesar di Indonesia. Penulis bersama rekan memilih bidang penelitian di Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses dengan judul Tugas Akhir “Perancangan Proses Distilasi Atmosferik dan Penghilangan *Gas Oil* dalam Pengolahan Minyak Pelumas Bekas”. Kritik dan saran yang membangun dapat dikirimkan ke alamat email penulis [zulfikarfawzi@gmail.com](mailto:zulfikarfawzi@gmail.com).